

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

Ф.Ю. Зигель

АСТРОНОМЫ НАБЛЮДАЮТ



Ф.Ю. Зигель

АСТРОНОМЫ НАБЛЮДАЮТ

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
А.К.К. -43- МОСКВА 1977



52

3-59

УДК 522.0

Феликс Юрьевич Зигель

АСТРОНОМЫ НАБЛЮДАЮТ

М., 1977 г., 192 стр. с илл.

Редактор *И. Е. Рахлин*

Техн. редактор *Н. В. Кошелева*

Корректоры *Е. А. Белицкая, Е. Я. Строева*

Сдано в набор 14.07.77. Подписано к печати 7.12.77. Бумага 84×108¹/₃₂ тип. № 2. Физ. печ. л. 6. Условн. печ. л. 10,08. Уч.-изд. л. 9,52. Тираж 125 000 экз. Т-20767. Цена книги 40 коп. Заказ № 677.

Издательство «Наука»

Главная редакция физико-математической литературы
117071, Москва, В-71, Ленинский проспект, 15

Ордена Трудового Красного Знамени
Ленинградская типография № 2 имени Евгении Соколовой
Союзполиграфпрома при Государственном комитете Совета
Министров СССР по делам издательств, полиграфии
и книжной торговли,
198052, Ленинград, Л-52, Измайловский проспект, 29.

3 $\frac{20601-183}{053(02)-77}$ 195-78

© Главная редакция
физико-математической литературы
издательства «Наука», 1977

«Астрономические методы сами по себе, независимо от дивных результатов, ими доставленных, представляются весьма достойными интереса».

Франсуа Араго

Природа наградила нас глазами — этими изумительными органами восприятия мира. Лучи света, преломляясь в хрусталике, естественной двояковыпуклой линзе, создают на сетчатке изображения предметов. В нормальном, здоровом глазе они всегда четкие — ведь хрусталик способен к аккомодации, то есть к изменению своей кривизны так, чтобы изображения на сетчатке были в «фокусе». Светочувствительные нервные клетки (колбочки и палочки) составляют поверхность сетчатки и благодаря им изображение внешних предметов переходит в восприятие.

Глаз человека — необыкновенно чувствительный приемник излучения. В некоторых условиях он способен различать даже квантовую природу света. Невооруженный глаз видит на всем небе около 6000 звезд, причем самые слабые из них принадлежат к звездам 6-й звездной величины. Правда, в исключительных случаях, например, в горах, в очень чистые, прозрачные ночи некоторые люди с очень острым зрением различали звезды 8,5 звездной величины. Таких звезд на всем небе уже десятки тысяч!

Отдавая должное разным достоинствам глаза, не следует, однако, забывать и о его недостатках. Яркие звезды, например, выглядят лучистыми, причем с поворотом головы иллюзорные лучи меняют свое расположение. Вызван этот недостаток зрения тем, что свет, попадающий в наш глаз, рассеивается в хрусталике и в так называемом стекловидном теле — студенистой массе, заполняющей внутренность глаза.

Глаз видит далеко не все. Наш орган зрения чувствителен лишь к очень небольшой доле всех электромагнитных излучений, существующих в природе. От

400 до 760 миллимикрон — вот границы длин волн тех лучей, которые доступны глазу. Все остальное мы не видим.

Вся история изучения Вселенной есть, в сущности, поиски и находки средств, улучшающих человеческое зрение. До начала XVII века невооруженный глаз был единственным оптическим инструментом астрономов. Вся астрономическая техника древних сводилась к созданию различных угломерных инструментов, как можно более точных и прочных. Уже первые телескопы сразу резко повысили разрешающую и проникающую способность человеческого глаза. Вселенная оказалась совсем иной, чем она казалась до тех пор. Постепенно были созданы приемники невидимых излучений и в настоящее время Вселенную мы воспринимаем во всех диапазонах электромагнитного спектра — от гамма-лучей до сверхдлинных радиоволн.

Более того, созданы приемники корпускулярных излучений, улавливающие мельчайшие частицы — корпускулы (в основном ядра атомов и электроны), приходящие к нам от небесных тел. Если не бояться аллегорий, можно сказать, что Земля стала зорче, ее «глаза», то есть совокупность всех приемников космических излучений, способны фиксировать объекты, от которых до нас лучи света доходят за многие миллиарды лет.

Подумать только, благодаря телескопам и другим инструментам астрономической техники человек за три с половиной века проник в такие космические дали, куда свет — самое быстрое, что есть в этом мире — может добраться лишь за миллиарды лет! Это означает, что радиус изучаемой нами части Вселенной растет со скоростью, в огромное число раз превосходящей скорость света!

Эта книга повествует об увлекательной истории развития астрономической техники. Мы больше будем говорить о методах и инструментах, чем о результатах исследования. Но ведь путь бывает подчас не менее интересен, чем конечная цель.

Автор выражает глубокую благодарность доктору физико-математических наук Петру Владимировичу Щеглову, внимательно просмотревшему рукопись и сделавшему ряд весьма ценных замечаний.

«Необходимость вычислять периоды разлития Нила создала египетскую астрономию, а вместе с тем господство касты жрецов как руководителей земледелия».

*Карл Маркс *)*

Угломерные инструменты

Попробуйте представить себя в роли древнего наблюдателя Вселенной, полностью лишенного каких-либо инструментов. Много ли в таком случае можно увидеть на небе?

Днем обратит на себя внимание движение Солнца, его восход, подъем до максимальной высоты и медленное нисхождение к горизонту. Если такие наблюдения повторять ото дня ко дню, можно легко заметить, что точки восхода и захода, а также наибольшая угловая высота Солнца над горизонтом непрерывно меняются. При длительных наблюдениях во всех этих переменах можно подметить годовой цикл — основу календарного летосчисления.

Ночью небо гораздо богаче и объектами и событиями. Глаз легко различит узоры созвездий, неодинаковые яркость и окраску звезд, постепенное в течение года изменение вида звездного неба. Особое внимание привлечет Луна с ее изменчивостью внешней формы, сероватыми постоянными пятнами на поверхности и очень сложным движением на фоне звезд. Менее заметны, но, несомненно, привлекательны планеты — эти блуждающие немерцающие яркие «звезды», порой описывающие на фоне звезд загадочные петли.

Спокойная, привычная картина ночного неба может быть нарушена вспышкой «новой» яркой незнакомой звезды, появлением хвостатой кометы или яркого болида, или, наконец, «падением звезд». Все

*) К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. XVII, 1937, стр. 562.

эти события, несомненно, возбуждали интерес древних наблюдателей, но о действительных их причинах они не имели ни малейшего представления. На первых порах предстояло решить более простую задачу — подметить цикличность в небесных явлениях и по этим небесным циклам создать первые календари.

По-видимому, первыми это сделали египетские жрецы, когда примерно за 6000 лет до наших дней они подметили, что предутреннее появление Сириуса в лучах зари совпадает с разливом Нила. Для этого

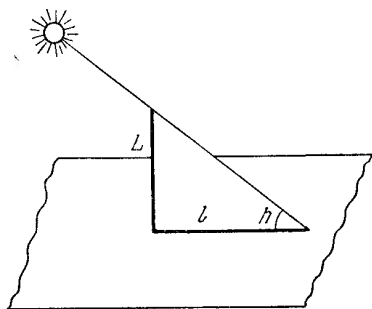


Рис. 1. Простейший гномон.

не нужны были какие-либо астрономические инструменты — требовалась лишь большая наблюдательность. Зато и ошибка в оценке продолжительности года была велика — первый египетский солнечный календарь содержал в году 360 суток.

Нужды практики заставляли древних астрономов совершенствовать календарь, уточнять продолжительность года. Предстояло разобраться и в сложном движении Луны — без этого счет времени по Луне был бы невозможен. Надо было уточнить особенности движения планет и составить первые звездные каталоги. Все перечисленные задачи предполагают *угловые измерения* на небе, числовые характеристики того, что до сих пор описывалось лишь словами. Так возникла нужда в угломерных астрономических инструментах.

Самый древний из них *гномон* (рис. 1). В простейшем варианте он представляет собой вертикальный

стержень, отбрасывающий тень на горизонтальную плоскость. Зная длину гномона L и измерив длину l отбрасываемой им тени, можно найти угловую высоту h Солнца над горизонтом по современной формуле:

$$\operatorname{tg} h = \frac{L}{l}.$$

Древние использовали гномоны для измерения полуденной высоты Солнца в различные дни года, а главное в дни солнцестояний, когда эта высота достигает экстремальных значений. Пусть полуденная высота Солнца в день летнего солнцестояния равна H , а в день зимнего солнцестояния h . Тогда угол ε между небесным экватором и эклипстикой равен $\frac{H - h}{2}$, а наклон плоскости небесного экватора к горизонту, равный $90^\circ - \varphi$, где φ — широта места наблюдения, вычисляется по формуле $\frac{H + h}{2}$. С другой стороны, внимательно следя за длиной полуденной тени, можно достаточно точно подметить, *когда* она становится самой длинной или самой короткой, то есть иначе говоря, зафиксировать дни солнцестояний, а значит, и продолжительность года. Отсюда легко вычислить и даты солнцестояний.

Таким образом, несмотря на простоту, гномон позволяет измерять очень важные в астрономии величины. Эти измерения будут тем точнее, чем крупнее гномон и чем, следовательно, длиннее (при прочих равных условиях) отбрасываемая им тень. Так как конец тени, отбрасываемой гномоном, не бывает резко очерчен (из-за полутени), то на некоторых древних гномонах сверху укрепляли вертикальную пластинку с маленьким круглым отверстием. Солнечные лучи, пройдя сквозь это отверстие, создавали четкий солнечный блик на горизонтальной плоскости, от которого измеряли расстояние до основания гномона.

Еще за тысячу лет до нашей эры в Египте был построен гномон в виде обелиска высотой в 117 римских футов. В царствование императора Августа гномон перевезли в Рим, установили на Марсовом поле и определяли с его помощью момент полдня. На Пекинской обсерватории в XIII веке н. э. был установлен

гномон высотой 13 м, а знаменитый узбекский астроном Улугбек (XV век) пользовался гномоном, по некоторым сведениям, высотой 55 м. Самый же высокий гномон работал в XV веке на куполе Флорентийского собора. Вместе со зданием собора его высота достигала 90 м!

К числу древнейших угломерных инструментов принадлежит также астрономический посох (рис. 2).

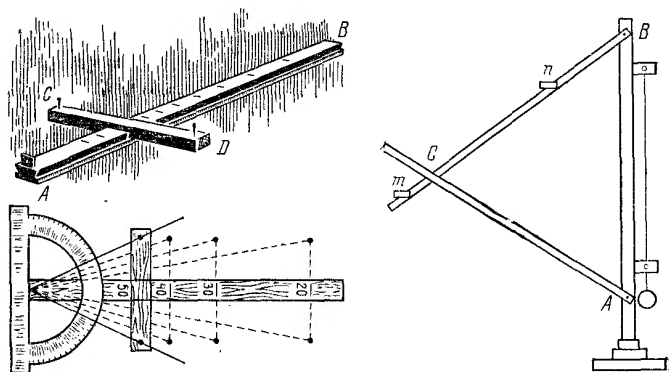


Рис. 2. Астрономический посох (слева сверху) и трикветр (справа). Слева внизу чертеж, поясняющий принцип действия астрономического посоха.

Вдоль градуированной линейки AB перемещалась подвижная рейка CD , на концах которой иногда укрепляли небольшие стержни — визиры. В некоторых случаях визир с отверстием был и на том конце линейки AB , к которому наблюдатель прикладывал свой глаз (точка A). По положению подвижной рейки относительно глаза наблюдателя можно было судить о высоте светила над горизонтом, или об угле между направлениями на две звезды.

Древние греческие астрономы пользовались так называемым *трикветром*, состоящим из трех соединенных вместе линеек (рис. 2). К вертикальной неподвижной линейке AB на шарнирах прикреплены линейки BC и AC . На первой из них укреплены два визира или диоптра m и n . Наблюдатель направляет линейку BC на звезду так, чтобы звезда одновременно

была видна сквозь оба диоптра. Затем, удерживая линейку BC в этом положении, к ней прикладывают линейку AC таким образом, чтобы расстояния BA и BC были равны между собой. Это было легко сделать, так как на всех трех линейках, составляющих трикветр, имелись деления одинаковой шкалы. Измерив по этой шкале длину хорды AC , наблюдатель затем по специальным таблицам находил угол ABC , то есть зенитное расстояние звезды.

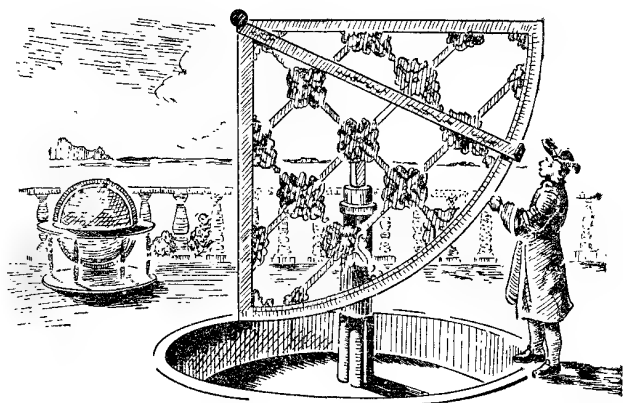


Рис. 3. Древний квадрант.

И астрономический посох и трикветр не могли обеспечить высокую точность измерений, и потому им нередко предпочитали *квадранты* — угломерные инструменты, достигшие к концу средневековья высокой степени совершенства. В простейшем варианте (рис. 3) квадрант представляет собой плоскую доску в форме четверти градуированного круга. Около центра с этого круга вращается подвижная линейка с двумя диоптрами (иногда линейку заменяли трубкой). Если плоскость квадранта вертикальна, то по положению трубы или визирной линейки, направленных на светило, легко измерить высоту светила над горизонтом. В тех случаях, когда вместо четверти круга использовали его шестую часть, инструмент назывался *секстантом*, а если восьмую часть — *октантом*. Как и в других случаях, чем крупнее был квад-

рант или секстант, чем точнее была его градуировка и установка в вертикальной плоскости, тем более точные измерения с ним можно было выполнять. Для обеспечения устойчивости и прочности крупные квадранты укрепляли на вертикальных стенах. Такие стенные квадранты еще в XVIII веке считались лучшими угломерными инструментами.

К тому же типу инструментов, что и квадрант, относится *астролябия* или астрономическое кольцо

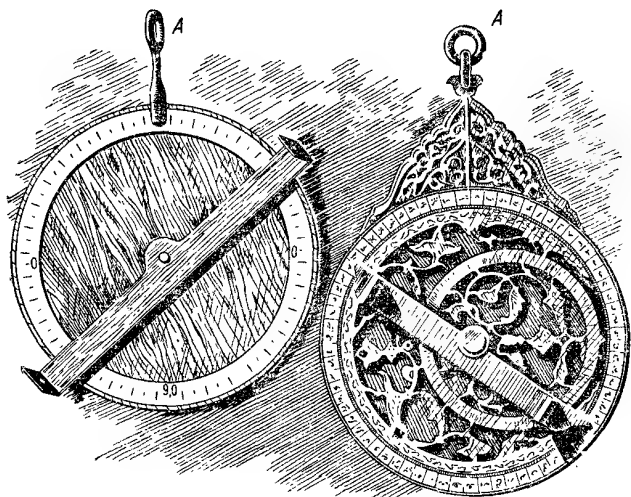


Рис. 4. Древняя (справа) и самодельная астролябия.

(рис. 4). Разделенный на градусы металлический круг подвешивается к какой-нибудь опоре за кольцо А. В центре астролябии укреплена алидада — вращающаяся линейка с двумя диоптрами. По положению алидады, направленной на светило, легко отсчитывается его угловая высота.

Часто древним астрономам приходилось измерять не высоты светил, а углы между направлениями на два светила (например, на планету и какую-нибудь из звезд). Для этой цели весьма удобен был универсальный квадрант (рис. 5а). Этот инструмент был снабжен двумя трубками — диоптрами, из которых

одна (АС) неподвижно скреплялась с дугой квадранта, а вторая (ВС) вращалась вокруг его центра. Главная же особенность универсального квадранта — его штатив, с помощью которого квадрант можно было фиксировать в любом положении. При измерениях углового расстояния от звезды до планеты неподвижный диоптр направлялся на звезду, а подвижный — на планету. Отсчет по шкале квадранта давал искомый угол.

Широкое распространение в древней астрономии получили *армилярные сферы*, или *армиллы* (рис. 5б). По существу, это были модели небесной сферы с ее

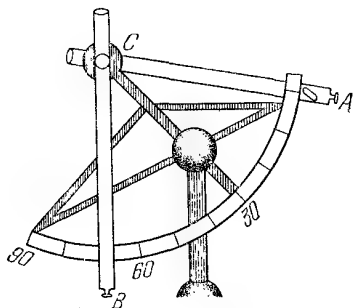


Рис. 5а. Универсальный квадрант.

важнейшими точками и кругами — полюсами и осью мира, меридианом, горизонтом, небесным экватором и эклиптической. Нередко армиллы дополнялись малыми кругами — небесными параллелями и другими деталями. Почти все круги были градуированы и сама сфера могла вращаться вокруг оси мира. В ряде случаев делался подвижным и меридиан — наклон оси мира можно было менять в соответствии с географической широтой места.

Из всех древних астрономических инструментов армиллы оказались самыми живучими. Эти модели небесной сферы и сейчас можно купить в магазинах наглядных пособий, и они используются на учебных занятиях по астрономии для решения различных задач. Так же применяли небольшие армиллы и древние астрономы. Что же касается крупных армилл, то

они были приспособлены для угловых измерений на небе.

Армилла прежде всего жестко ориентировалась так, чтобы ее горизонт лежал в горизонтальной плоскости, а меридиан — в плоскости небесного меридиана. При наблюдениях с армиллярной сферой глаз

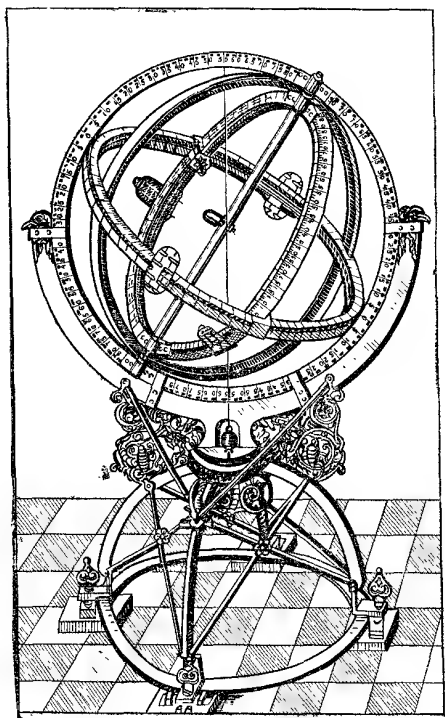


Рис. 5б. Армиллярная сфера.

наблюдателя совмещали с ее центром. На оси мира укрепляли подвижной круг склонения с диоптрами и в те моменты, когда сквозь эти диоптры была видна звезда, отсчитывали по делениям кругов армиллы координаты звезды — ее часовой угол и склонение. При некоторых дополнительных устройствах с помощью

армилл удавалось измерять непосредственно и прямые восхождения звезд.

На любой современной обсерватории есть точные часы. Были часы и на древних обсерваториях, но они и по принципу действия и по точности сильно отличались от современных. Самые древние из часов — солнечные. Их употребляли еще за много веков до нашей эры.

Простейшие из солнечных часов — экваториальные (рис. 6, а). Они состоят из стержня, направленного к Полярной звезде (точнее, к северному полюсу мира), и перпендикулярного к нему циферблата, разделенного на часы и минуты. Тень от стержня выполняет роль стрелки, причем шкала на циферблате рав-

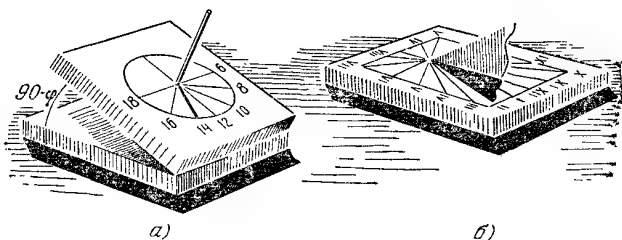


Рис. 6. Экваториальные (слева) и горизонтальные солнечные часы.

номерная, то есть все часовые (и, конечно, минутные) деления равны между собой. У экваториальных солнечных часов есть существенный недостаток — они показывают время лишь в период с 21 марта до 23 сентября, то есть когда Солнце находится над небесным экватором. Можно, конечно, сделать двусторонний циферблат и укрепить еще один нижний стержень, но от этого экваториальные часы вряд ли станут более удобными.

Более употребительны горизонтальные солнечные часы (рис. 6, б). Роль стержня в них обычно выполняет треугольная пластинка, верхняя сторона которой направлена на северный полюс мира. Тень от этой пластинки падает на горизонтальный циферблат, часовые деления которого на этот раз не равны между

собою (равны лишь попарно часовые деления, симметричные относительно полуденной линии). Для каждой широты оцифровка циферблата таких часов различна. Иногда вместо горизонтального употребляли вертикальный циферблат (настенные солнечные часы) или циферблаты особой сложной формы.

Самые крупные солнечные часы были построены в начале XVIII века в Дели. Тень от треугольной стены, вершина которой имеет высоту 18 м, падает на оцифрованные мраморные дуги с радиусом около 6 м. Эти часы исправно действуют до сих пор и показывают время с точностью до одной минуты.

Все солнечные часы обладают очень большим недостатком — в пасмурную погоду и по ночам они не работают. Поэтому наряду с солнечными часами древние астрономы употребляли также песочные часы и водяные часы, или клепсидры. И в тех и в других время, по существу, измеряется равномерным движением песка или воды. Небольшие песочные часы встречаются до сих пор, клепсидры же постепенно вышли из употребления еще в XVII веке после того как были изобретены высокоточные механические маятниковые часы.

Как же внешне выглядели древние обсерватории?

Древние обсерватории

Для того чтобы подметить первое появление Сириуса в лучах утренней зари, никаких специальных зданий типа современных обсерваторий, разумеется, не требуется. Нужен лишь открытый горизонт и чистое, ясное небо. Поэтому древние египетские жрецы, бывшие одновременно и первыми астрономами, вели астрономические наблюдения с подножья пирамид или оснований исполинских каменных сфинксов, как это изображено на широко известной в популярной астрономической литературе картинке. Позже для астрономических наблюдений во многих странах и восточного и западного полушарий использовались плоские площадки на вершинах пирамид (например, у древних ацтеков) или башен.

Первые астрономические обсерватории возникли, по-видимому, в Китае. В период династии Чжоу (с XII века до н. э.) просвещение в Китае стало широко распространяться и в городе Чжоугун (современная провинция Хэнань) правитель У-Ван построил большую обсерваторию. Ныне от этой обсерватории остались частично разрушенный старинный гномон и сравнительно невысокая башня с площадкой наверху, предназначенной для размещения переносных угломерных инструментов.

Древние китайские астрономы ввели в употребление астрономически обоснованные солнечный и лунный календари. Были составлены звездные каталоги, изготовлены звездные глобусы, введены многочисленные созвездия, в том числе и 28 зодиакальных. Астрономы древнего Китая аккуратно регистрировали вспышки новых звезд и появление ярких комет, причем эти наблюдения ценны и для современной астрономии. Первый звездный каталог, содержащий сведения о 800 звездах, появился в Китае еще в IV веке до нашей эры и, судя по всему, был первым в мире звездным каталогом. Позже знаменитый астроном древнего Китая Чжан Хэн (78—139 гг. н. э.) разделил звездное небо на 124 созвездия, причем подсчитал, что общее количество хорошо видимых в Китае звезд близко к 1500. Из них 320 звездам Чжан Хэн дал собственные имена.

Этот великий астроном сконструировал множество астрономических приборов, в том числе армиллярную сферу, приводимую во вращение специальным гидромеханическим механизмом. Рядом со сферой стояло искусственное дерево-календарь, с которого ежедневно падало по одному листу. В конце месяца упавшие листья снова водворялись на дерево.

Особое внимание китайские астрономы уделяли предвычислению солнечных и лунных затмений. В ту пору считалось, что эти «небесные знамения» грозят несчастьем и правителям и простому люду. Предсказание затмений рассматривалось как важнейшая государственная служба. В книге «Шу-Кинг» рассказывается о солнечном затмении, наступившем в 2137 году до н. э. и не предсказанном заранее придворными астрономами. По поводу этого происшествия в названной

выше книге говорится, что «господа Хи и Хо забыли о добродетели, предались непомерному пьянству, запустили свои обязанности и оказались ниже своего ранга. Они впервые нарушили счет времени по светилам. В последний осенний месяц, в первый его день Солнце и Луна, вопреки вычислениям, сошлись в созвездии Фанг. Слепых известил барабан, бережливые люди были охвачены смятением, народ бежал. А господа Хи и Хо находились при своей должности: они ничего не слышали и не видели». Возникшая во время затмения паника обошлась Хи и Хо очень дорого — по приказу правителя им отрубили головы.

Астрономы древнего Китая первыми в мире открыли пятна на Солнце. По этому поводу в 28 году до н. э. в одной из китайских летописей сделана следующая запись: «В марте первого года Хэ-Пин вошло желтое Солнце и посередине его имеется темное пятно величиной с монету». Солнечные пятна много раз видели и позже, причем в те моменты, когда на Солнце можно было смотреть невооруженным глазом, то есть при восходе или заходе, а также в те моменты, когда Солнце закрыто легкой пеленой облаков.

В эпоху средневековья китайские астрономы совершенствовали астрономические инструменты, главным образом армиллы и небесные глобусы. С помощью сложных водяных механизмов сферы и глобусы приводились в медленное вращение, совершая полный оборот за сутки. По их поверхности перемещались в соответствующем темпе шарики, изображавшие Луну и Солнце. Глобусы и сферы соединялись с часами, колокола которых звонили каждые четверть часа.

Вместе с усовершенствованием инструментов строятся и новые обсерватории. В V веке н. э. возникла обсерватория в Нанкине, а в XII веке н. э. положено начало Пекинской обсерватории. Эта последняя, ныне превращенная в музей, располагается на древней городской стене и к ней ведет длинная пологая лестница (рис. 7).

Рассмотрите внимательно оборудование Пекинской обсерватории, характерное для всех древних обсерваторий вообще. Здесь на обширной, огороженной барьером наблюдательной площадке собраны почти

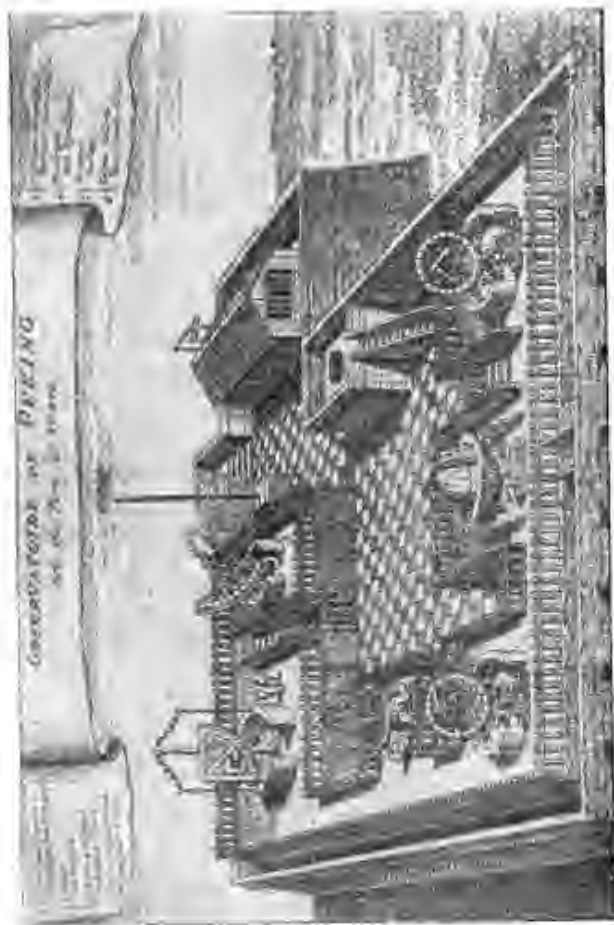


Рис. 7. Древняя Пекинская обсерватория.

все типы древних угломерных инструментов — армиллярные сферы, квадрант, гномоны, секстант. Были также на Пекинской обсерватории и небесные глобусы и клепсидры разных типов. Словом, Пекинская обсерватория одна из очень немногих сохранившихся до наших времен типичных древних обсерваторий. Подобные обсерватории были и в других культурных странах древнего мира.

Гиппарх и Птолемей

Уже в древности среди астрономов наметились два типа ученых — наблюдателей и теоретиков. Первые из них прославились многочисленными и очень точными (разумеется, по тем временам) астрономическими наблюдениями. В процессе этих наблюдений они неизбежно открывали новые, порою необыкновенные и трудно объяснимые космические явления. Астрономам-теоретикам и в древности и теперь приходится решать сложную задачу — теоретически осмыслить то новое, что открыто в Природе, и, если удастся, построить достаточно общую теорию, объясняющую большой класс явлений. Конечно, разделение на практиков-наблюдателей и теоретиков-вычислителей несколько условно. Иногда в одном лице сочетается и то и другое. Но такие случаи все же были исключением. Два знаменитых астронома древности Гиппарх и Птолемей являют собой два типа астрономов — величайшего наблюдателя древности и блестящего теоретика, создавшего весьма общую теоретическую схему, которой пользовалась наука на протяжении почти пятнадцати веков.

О жизни Гиппарха известно очень мало. Родился он в Никее и большую часть жизни провел на острове Родос, где и построил себе обсерваторию. Вероятно, ему приходилось бывать и в Александрии — крупнейшем культурном центре древнего мира. Расцвет творческой деятельности Гиппарха захватил середину II века до нашей эры. Лишь одно и притом второстепенное его сочинение дошло до нас. Об остальных главных трудах Гиппарха мы знаем лишь по изло-

жению этих трудов в более поздних сочинениях других авторов.

Гиппарха справедливо считают изобретателем сферической тригонометрии, формулами которой ему приходилось пользоваться для пересчета экваториальных координат светил в эклиптикальные. Гиппарх был отличным вычислителем — об этом свидетельствуют его таблицы движения Солнца и Луны. Однако важнейшие заслуги Гиппарха относятся к области практической, наблюдательной астрономии. Он пользовался уже знакомыми нам угломерными инструментами, но довел технику наблюдений до такого совершенства, при котором положения светил определялись им с ошибкой, не превосходящей одной минуты дуги.

Сегодня мы в полной мере можем оценить трудность тех задач, которые поставил перед собой и успешно решил Гиппарх. Ему удалось подметить неравномерное движение Солнца по эклиптике — «отражение» неравномерного обращения Земли вокруг Солнца. Гиппарх же, считая Землю центром Вселенной, объяснил обнаруженные им неравномерности тем, что центр круговой орбиты Солнца не совпадает с центром Земли. Тогда при таком эксцентричном положении Земли наблюдателю будет казаться, что в удаленных от него частях орбиты Солнце движется медленнее, а в более близких — быстрее, хотя на самом деле движение Солнца совершенно равномерно. На основе этого остроумного, хотя и неверного по существу, объяснения Гиппарх и составил свои солнечные таблицы, по которым можно было узнать положение Солнца на эклиптике для любого момента времени.

Подобное объяснение Гиппарх пытался дать и движениям Луны. Но эти движения гораздо сложнее солнечных. Как мы теперь знаем, благодаря возмущениям со стороны Солнца, Земли и планет лунная орбита непрерывно меняет свою форму и положение в пространстве. К этому добавляется и неравномерное движение Луны по орбите, сильно осложненное влиянием тяготения Земли. Можно лишь поражаться, что Гиппарху удалось подметить важнейшие из лунных *неравенств*, то есть неправильностей в очень сложном движении Луны.

В июле 134 года до н. э. Гиппарх неожиданно заметил яркую незнакомую звезду в созвездии Скорпиона. Это была первая новая звезда, открытая на европейском континенте. Она вскоре померкла и исчезла со звездного неба, но Гиппарх, пораженный необычайным небесным явлением, решил составить подробную перепись видимых на небе ярких звезд, измерив при этом их координаты.

Звездный каталог Гиппарха — древнейший из дошедших до нас. Он включает в себя 1022 звезды, распределенные по 48 созвездиям. Звезды по видимой яркости (блеску) впервые разделены на шесть категорий, шесть звездных величин. Введены и промежуточные оценки яркости в этой условной, но до сих пор общепринятой шкале. Каталог Гиппарха содержит 15 самых ярких звезд первой величины, 45 — второй, 208 — третьей, 474 — четвертой, 217 — пятой и 49 — шестой. Тут же в каталоге указаны еще девять «тусклых» звезд и пять «туманностей».

Когда Гиппарх сравнил координаты некоторых звезд его каталога с теми координатами, которые были получены его предшественниками, в частности, Тимохарисом (III век до н. э.), он обнаружил значительные расхождения. Объяснить их можно было только одним — начало отсчета координат, точка весеннего равноденствия, очень медленно смещается по эклиптике навстречу Солнцу, завершая полный оборот (как мы теперь знаем) за 26 000 лет. Так было открыто *предварение равноденствий*, вызванное прецессией оси земного шара, то есть очень медленным перемещением ее по конусообразной поверхности. При этом (что отметил и Гиппарх) наклон эклиптики к экватору остается неизменным.

Изучал Гиппарх и движения планет. Но они оказались настолько сложными, что он воздержался от каких-либо теоретических объяснений. Эту задачу предстояло решить Клавдию Птолемею.

Подробности жизни Птолемея неизвестны. Мы даже не знаем где и когда он родился. Некоторые исследователи утверждали, что этот великий астроном древности имел родственное отношение к династии Птолемеев, правивших Египтом. Однако сам Клавдий Птолемей никогда об этом ничего не писал и не гово-

рил. Большую часть жизни он провел в Александрии, где занимался теоретическим обобщением работ своих предшественников. В отличие от Гиппарха, это был типичный астроном-теоретик, не внесший в практику астрономических наблюдений ничего нового.

Около 150 года н. э. Птолемей опубликовал свой главный труд. Он скромно назывался «Математическим сборником или синтаксисом», но, по существу, представлял собой астрономическую энциклопедию той эпохи. Недаром арабы называли книгу Птолемея «Альмагест», то есть «Всеобщее обозрение», и под таким наименованием она обычно и упоминается в истории астрономии.

«Альмагест» состоит из 13 книг. В первых из них излагается прямолинейная и сферическая тригонометрия. Далее следует описание всех существовавших во времена Птолемея типов астрономических инструментов, звездный каталог Гиппарха и различные математические таблицы, и наконец, теоретические схемы, объясняющие движения Солнца и Луны. Здесь Птолемей не был оригинален и почти полностью повторил лишь то, что было известно и Гиппарху. Главная же идея «Альмагеста» содержится в его последних пяти книгах. Именно здесь изложена знаменитая геоцентрическая система Птолемея — высшее теоретическое достижение древней астрономии. Напомним ее основные идеи (рис. 8).

В центре Вселенной Птолемей поместил шарообразную Землю, а Луну и Солнце водворил на концентрические круговые орбиты, общий центр которых совпадает с центром Земли. Для Птолемея, как и для всех его современников, величайшим авторитетом в области философии природы был Аристотель — знаменитый древнегреческий мыслитель, живший в IV веке до н. э. Аристотель учил, что Вселенная делится на две радикально различные части. Одна из них — Земля и все земное, где господствуют несовершенство, смерть и разрушение. Наоборот, небо и все небесное — идеальная сфера бытия. Эта область Вселенной характерна чистотой и совершенством. Идеально чисты и совершенны все небесные тела. Совершенны и их движения — непременно *круговые и равномерные*. Именно эта умозрительная и, по существу,

неверная идея Аристотеля на много веков затормозила развитие астрономии. Она прочно владела умами всех астрономов от Птолемея до Коперника и лишь Кеплер в XVII веке рискнул посягнуть на, казалось бы незыблемый, авторитет Аристотеля — он ввел для небесных тел неравномерные и некруговые движения.

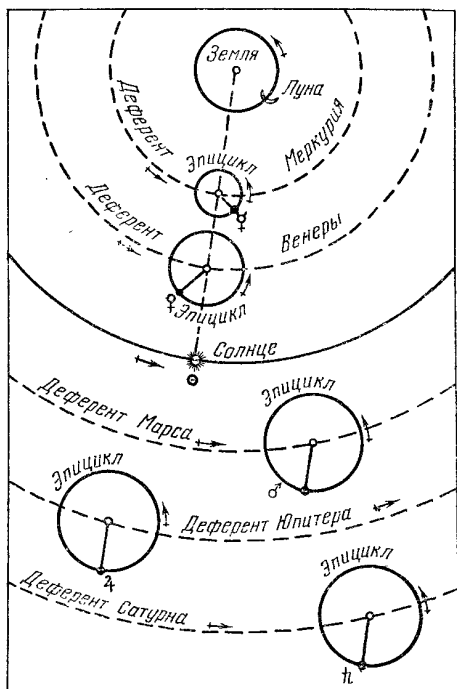


Рис. 8. Система Птолемея.

Птолемей поступил иначе. Для объяснения сложного, петлеобразного и притом неравномерного видимого движения планет, он предположил, что планеты равномерно обращаются по малым окружностям (эпициклам), а центры эпициклов опять же равномерно движутся вокруг Земли по большим окружностям — деферентам. Если предположить, что плоско-

сти эпициклов несколько наклонены к плоскости деферентов, легко понять, что в этом случае земному наблюдателю покажется, что планеты на фоне далеких звезд описывают сложные петли.

Это было гениальное решение проблемы. Неравномерные и некруговые движения рассматривались как результат сложения двух круговых и равномерных движений. На рис. 8 показано строение Вселенной по Птолемею, который математически доказал, что при соответствующем подборе радиусов эпициклов и деферентов, а также при надлежащем выборе скоростей их равномерных движений удастся объяснить видимые движения планет. В то же время сохраняется и «совершенство небес» — все движения там вполне «идеальны» в том смысле, как это понимал Аристотель.

Единственное, в чем могли упрекнуть Птолемея его современники, так это в непонятной сложности его системы, где планеты двигались не вокруг каких-либо тел, а вокруг геометрических точек — центров эпициклов. К сожалению, и эту громоздкую систему мира пришлось позже еще более усложнить. В последующие за Птолемеем века выяснилось, что видимые движения некоторых планет очень сложны и одного эпицикла для их объяснения недостаточно. К XIII веку, например, пришлось предположить, что у Марса, по-видимому, есть не один, а 200 эпициклов! Сам Марс движется по 200-му эпициклу, центр которого обращается по 199-му эпициклу и т. д. Система мира получалась запутанной, сложной и физически непонятной. Когда в XIII веке в Толедо состоялся, говоря по-современному, съезд всех известных астрономов того времени, Кастильский король Альфонс X, выслушав их дебаты, заявил, что «если бы он присутствовал при творении мира, он посоветовал бы богу сотворить мир попроще». Эта неосторожная «богохульная» острота стоила Альфонсу короны.

Поддерживаемая авторитетом церкви, птолемеева система мира просуществовала до Коперника, который, как и Птолемей, в своей гелиоцентрической системе мира оставил лишь «идеальные» движения и для Земли, и для других планет. Поэтому, как это ни парадоксально, на первых порах (то есть до Кеплера)

система Коперника *хуже* объясняла видимые движения планет, чем громоздкая система Птолемея. Но ведь именно в этой «громоздкости» и заключалась потенциальная сила птолемеевой системы, способной в принципе даже в наши дни с любой степенью точности предсказывать не только движения планет, но также видимые движения межпланетных космических станций!

Секрет этого парадокса прост. По существу, Птолемей изобрел так называемый гармонический анализ за полтора тысячелетия до Фурье, который считается его первооткрывателем. Суть же этого анализа заключается в том, что любое сложное движение в природе можно разложить на сумму круговых и равномерных движений, причем такое представление может быть как угодно точным — для этого надо взять в указанной сумме лишь достаточно большое количество членов. Таким образом, ложная в своей *физической* основе птолемеева система мира с чисто *математической* стороны оказалась весьма совершенной теоретической схемой, увенчавшей древнюю астрономию. Что же касается старинных астрономических угломерных инструментов и практики работы с ними, то наибольшие результаты в этой области были достигнуты великими астрономами-наблюдателями XV и XVI веков — Улугбеком и Тихо Браге.

Внун Тимура

Вторая половина XIV века и начало следующего столетия отмечены завоеваниями легендарного Тимура. Вся жизнь Тимура была непрерывной цепью походов и войн, во время которых население завоеванных стран подвергалось невероятным притеснениям и жестокостям. Имя Тимура, не знавшего ни страха, ни жалости, наводило ужас на все азиатские народы. К концу своей жизни (1405 год) Тимур стал властителем огромной, хотя и непрочной империи, столицей которой был Самарканд. Для украшения этого города Тимур не жалел ни сил, ни средств. Отовсюду он привозил сюда нагراбленные им богатства, а также и

пленников — мастеров, поэтов, ученых. Сам Тимур (по национальности узбек) был неграмотен, но, отличаясь недюжинным природным умом, он ценил знающих людей и особенно любил беседовать с учеными. Уже при жизни Тимура Самарканд стал одним из самых богатых и культурных городов мира.

В конце 1393 года Тимур начал большой семилетний поход на Иран. По обычаю, принятому у монголов, Тимура сопровождали члены его двора, среди которых была и жена младшего сына Тимура семнадцатилетнего Шахруха. 22 марта 1394 года во время одной из стоянок жена Шахруха разрешилась от бремени. Новорожденному дали имя Мухамед-Тарагай, но в историю он вошел под прозвищем Улугбек, что означает «великий князь».

Маленький Улугбек принимал участие во всех походах своего деда. Он сопровождал Тимура во время его набегов на Индию, Армению, Афганистан. Участвовал Улугбек и в приеме иностранных посланников, как требовали того сложившиеся традиции.

В 1404 году Тимур женил своего десятилетнего внука Улугбека на его двоюродной племяннице, и, видимо, чувствуя приближение своей кончины, назначил уделы малолетним внукам. Улугбеку досталась обширная область, куда входил, в частности, город Ташкент.

Спустя год во время одного из походов Тимур заболел и умер, а его громадное, но непрочное государство распалось в течение нескольких месяцев. Началась длительная междоусобная борьба за наследство Тимура, в ходе которой в 1409 году Улугбек становится правителем Мавераннахра, Хорезма и Ферганы. Столицей этого большого государства был оставлен древний Самарканд.

В отличие от деда, Улугбек не отличался воинственностью. Правда, в первые годы правления он совершил несколько походов для защиты своих владений. Но увлекало Улугбека совсем иное. Его призванием стала наука. Он всячески покровительствовал ученым, строил для школ (медресе) великолепные здания. Улугбек окружил себя знаменитыми в то время поэтами, врачами, историками. Он сам писал стихи и принял участие в составлении большого

научного труда по истории главнейших стран Азии. Но основной привязанностью Улугбека была астрономия.

На окраине Самарканда Улугбек выбрал невысокий холм, на котором под его руководством была построена крупнейшая астрономическая обсерватория XV века. Время не пощадило ее и вскоре после смерти Улугбека в 1449 году его обсерватория пришла в упадок, а затем постепенно разрушилась и была забыта. Лишь в 1908 году русский археолог В. Л. Вяткин с трудом отыскал развалины обсерватории Улугбека. Его раскопки продолжили советские археологи и сегодня мы можем достаточно полно представить себе внешний облик и оборудование крупнейшей обсерватории XV века.

Цилиндрическое трехэтажное здание обсерватории со множеством окон и помещений, достигавшее около 50 м в диаметре, имело мраморный цоколь и керамическую облицовку из яркой резной мозаики. Внутренние помещения были оштукатурены и, по свидетельству очевидцев, на их стенах имелись изображения небесных сфер и «семи климагов». Холм, на котором была воздвигнута обсерватория, имел высоту 21 м, с крыши обсерватории (то есть с высоты 55 м) открывался широкий горизонт.

Здание обсерватории имело центральный широкий проем, расположенный по меридиану. В этом проеме и располагался главный угломерный инструмент обсерватории — исполинский секстант.

Даже у нас, привыкших к огромным размерам современных технических сооружений, секстант Улугбека вызывает изумление (рис. 9). Дуга секстанта имеет радиус 40,2 м. В ее центре в верхней части здания был укреплен основной диоптр. По самой дуге секстанта на специальных бронзовых рельсах наблюдатель передвигал визирные инструменты, с помощью которых фиксировалось направление на небесное светило. При наблюдениях Солнца помещение секстанта полностью затемнялось, превращаясь, таким образом, в огромную камеру-обскуру. Луч Солнца, пройдя через основной диоптр, давал «зайчик» на специальном белом диске, перемещавшемся по дуге секстанта. По положению тележки с этим диском измерялась полуденная высота Солнца.

Дуга секстанта Улугбека, собственно, состоит из двух параллельных дуг, выложенных из жженого кирпича и облицованных сверху мрамором. Расстояние между ними составляет 51 см. Вдоль каждой из дуг врезаны пазы шириной 26 мм и глубиной 15 мм, в которых, видимо, укреплялись бронзовые рельсы. Расстояния между градусными делениями на дуге инструмента равны 70,2 см. Эти деления отмечены поперечными пазами, с помощью которых, вероятно,

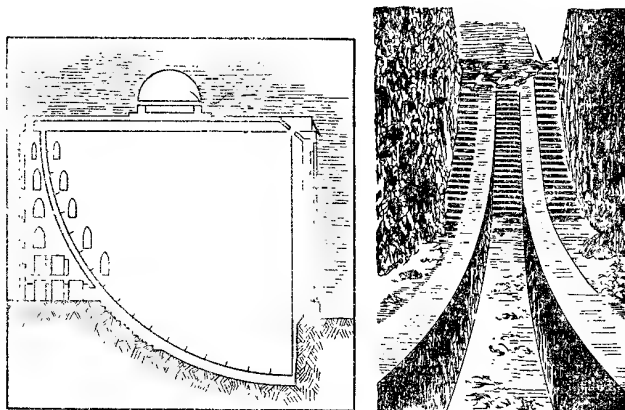


Рис. 9. Обсерватория Улугбека (реконструкция) и его секстант (справа).

закреплялись тележки с подвижными визирами. По бокам дуг шла лестница для наблюдателя. До сих пор нельзя считать окончательно решенным вопрос, был ли инструмент Улугбека секстантом, или, как считал В. Л. Вяткин, квадрантом. До наших дней в нижней подземной части инструмента сохранились плитки с обозначениями от 80 до 58 градусов. В верхней же части дуги видны деления, соответствующие 19, 20 и 21 градусу. Возможно, что исполинский угломерный инструмент Улугбека был квадрантом, что вполне соответствует размерам и высоте здания обсерватории. Как показали измерения, выполненные в 1941 году В. П. Щегловым, точность расположения по меридиану главного инструмента обсерватории

Улугбека была очень высокой — ошибка по азимуту оказалась близкой всего к 10 минутам дуги!

Несомненно, что наряду с основным инструментом Улугбек и его сотрудники при астрономических наблюдениях использовали небольшие переносные угломерные приборы. Что же нового в астрономию внесла обсерватория Улугбека?

Исполнинские размеры основного инструмента, отличное качество его изготовления, а также высокое искусство самаркандских астрономов позволили им с максимально возможной для того времени точностью измерить важнейшие астрономические величины — наклон эклиптики к экватору, продолжительность года и другие. На короткий срок обсерватория Улугбека сделалась астрономической столицей мира. Слава Улугбека перешагнула границы Азии и на гравиорах XVII века мы видим Улугбека в окружении немногих самых знаменитых астрономов мира.

Основным трудом обсерватории Улугбека считаются «Новые астрономические таблицы» («Зидж Гурагони»), которые содержат каталог 1018 звезд. В этом труде излагаются также различные системы летосчисления, основы сферической и практической астрономии, теория затмений и движения планет и ряд других сведений. Книга Улугбека неоднократно переиздавалась в различных странах, что неудивительно, так как она представляла собою астрономическую энциклопедию XV века. Измеренные Улугбеком положения звезд отличались от тех, которые были даны в древних каталогах Тимохариса и Гиппарха. Объяснялось это не только ошибками древних наблюдателей и другими причинами, но в некоторых случаях и реальными перемещениями звезд в пространстве.

Обсерватория Улугбека была высшим достижением в области астрономии всего мусульманского Востока. О самом Улугбеке великий узбекский поэт Алишер Навои писал так:

«Султан Улугбек, потомок хана Тимура, подобного которому мир еще не знал. Все его сородичи ушли в небытие. Кто о них вспоминает в наше время? Но Улугбек протянул руку к наукам и добился многого. Перед его глазами небо стало близким и опустилось вниз».

Он жил недаром

Почти век спустя после трагической гибели Улугбека (он был зверски убит по приказу его сына) в далекой от Самарканда Дании в семействе датского дворянина Браге в 1546 году родился мальчик, которому дали имя Тиге. Позже это имя было латинизировано и в историю астрономии знаменитый датчанин вошел под именем Тихо Браге.

На тринадцатом году жизни по настоянию своего дяди Тихо поступил в Копенгагенский университет, где успешно изучал риторику и философию, готовя себя к политической карьере. Однако необычное небесное явление изменило его первоначальные планы. В 1560 году произошло частное солнечное затмение и Тихо мог убедиться, что все его фазы наступали почти точно по предсказаниям календаря. Юноша был настолько поражен этим научным предвидением, что решил сам посвятить свою жизнь изучению тех законов, которые управляют движением небесных светил. Эту страсть, пробудившуюся в Тихо, поддерживали и его астрологические заблуждения. Он был сыном своего века, верил прорицаниям по звездам, и сам пожелал в этом достичь высшего совершенства.

От изучения гуманитарных наук Тихо перешел к математике и астрономии. Деньги, которые ему посылал дядя для развлечений, Тихо употреблял на покупку книг и угломерных астрономических инструментов. Уже в 1563 году, 17-летним юношей Тихо приступил к первым самостоятельным астрономическим наблюдениям. Три года спустя он отправился в путешествие по Германии, посетил Виттенберг, Базель и другие научные центры. Здесь он встречался с известными астрономами и тут же в Германии он соорудил огромный квадрант радиусом 6 метров, а также начал постройку громадного небесного глобуса поперечником в 1,5 метра.

Неожиданное происшествие на время прервало научные занятия Тихо. В Ростоке во время пирушки Тихо вступил в спор с неким Мандерупиусом по поводу доказательства одной математической теоремы. Жаркая дискуссия закончилась дуэлью, во время которой противник Тихо отсек ему шпагой большую

часть носа. С тех пор будущий великий астроном носил серебряный протез. Рассказывают, что этот искусственный нос постоянно отклеивался и Тихо был вынужден постоянно возить с собой коробочку с цементом и часто приклеивать себе нос. Вероятно, это обстоятельство сделало Тихо особенно раздражительным, хотя и до происшествия в Ростове он не отличался тихим нравом.

По возвращении в Данию в 1570 году Тихо увлекся алхимией и, казалось, навсегда позабыл астрономию. Но снова неожиданное небесное явление заставило Тихо, и на этот раз уже окончательно, посвятить свою жизнь звездам. В ноябре 1572 года в созвездии Кассиопеи вспыхнула новая звезда, достигшая яркости Юпитера. Тихо измерял ее угловое расстояние от других обычных звезд. Он установил, что суточное вращение Земли на положение таинственной звезды никак не влияет. Отсюда Тихо сделал вывод, что новая звезда значительно дальше Луны. Год спустя Тихо написал трактат о Новой 1572 года, а в 1574 году его пригласили в Копенгагенский университет для чтения лекций по астрономии.

В 1576 году в жизни Тихо Браге произошло важное событие. Датский король Фридрих II отдал Тихо остров Гвен вблизи берегов Швеции и отпустил значительные средства для строительства крупной обсерватории на этом острове. Кроме того, для поощрения Тихо король назначил ему крупную пенсию и подарил имение в Норвегии.

Обрадованный неожиданной поддержкой Тихо уже в мае 1576 года развернул на острове Гвен крупное строительство. К 1584 году в распоряжении Тихо были две большие обсерватории. Они мало походили на современные обсерватории, а скорее напоминали роскошные, богатые замки. Один из них Тихо назвал Ураниборгом (то есть «замком Урании», богини астрономии), второй получил наименование Стьернеборг («звездный замок»).

Ураниборг стоял на холме в центре острова и был со всех сторон окружен живописным садом. Внутри замка размещались четыре обсерватории, лаборатории, типография, жилые помещения и даже тюрьма.

Внутри посетитель любовался гобеленами, картинами и статуями великих людей. В Стьернеборге обсерватории были расположены под землей, чтобы защитить находившиеся там инструменты от нежелательных внешних воздействий (например, ветра).

На острове Гвен находились также мастерские, где под руководством Тихо изготавливались изумительные по своей точности астрономические угломерные инструменты. Они уступали по размерам главному инструменту Самаркандской обсерватории, но тщательность их изготовления (почти все они были мегаллическими) и, особенно, градуировки позволили Тихо достичь максимальной для его эпохи точности наблюдений, — ошибка в определении координат звезд в среднем не превосходила одной минуты дуги.

Тихо был первым из астрономов, кто стал учитывать рефракцию — кажущееся смещение небесных светил с их истинного положения на небесной сфере благодаря преломлению световых лучей в земной атмосфере. На известной гравюре XVI века Тихо Браге изображен во время наблюдений на шестиметровом стенном квадранте (рис. 10). Один из помощников (справа от Тихо) фиксирует положение визира на дуге квадранта, другой записывает данные наблюдений, третий следит за показаниями часов.

Кстати сказать, до XVIII столетия часы были «ахиллесовой пятой» всех астрономов. Маятниковых часов тогда еще не знали, а клепсидры, песочные и им подобные часы отличались неравномерностью хода и грубыми ошибками. Стоит упомянуть еще одну деталь рассматриваемой нами гравюры. У ног Тихо лежит любимый дог — подарок английского короля Якова, посетившего Ураниборг.

Двадцать один год продолжалась научная деятельность Тихо на острове Гвен. Ему удалось открыть новые неправильности в движении Луны, одна из которых вызвана перемещением плоскости лунной орбиты в пространстве. Он составил новые солнечные и планетные таблицы, более точные, чем те, что были до тех пор. Замечателен звездный каталог, на составление которого Тихо затратил 7 лет. По количеству звезд он уступал каталогам Улугбека или Гиппарха —

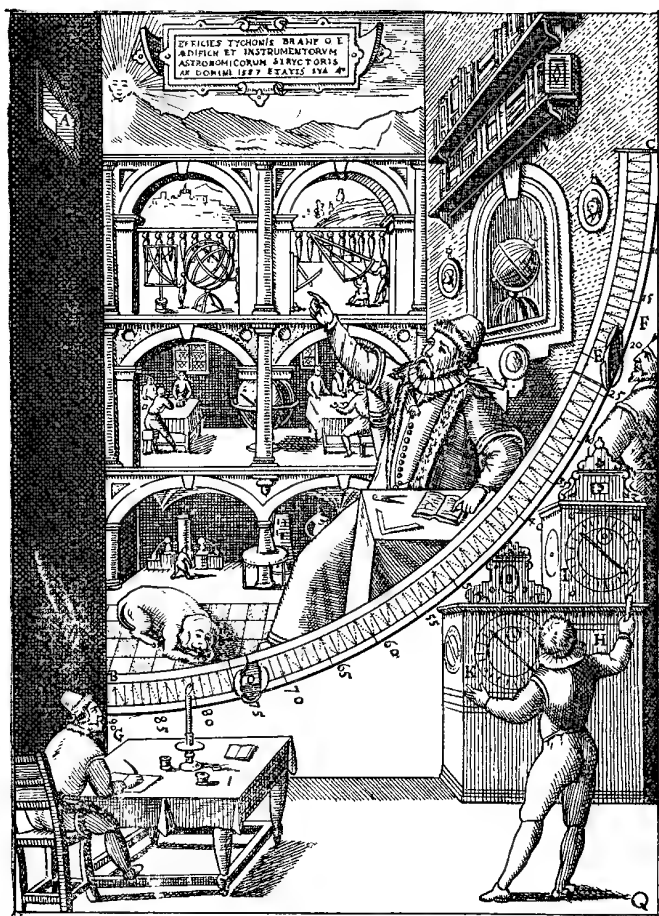


Рис. 10. Тихо Браге за наблюдениями.

в нем дана перепись всего 777 звезд. Но зато координаты этих звезд Тихо измерил с точностью несравненно большей, чем его предшественники. В начале XVII века Байер использовал каталог Тихо для составления первого подробного звездного атласа. Ко всему сказанному следует добавить, что Тихо заново перемерил основные астрономические постоянные и его результаты остались лучшими в дотелескопической астрономии.

Известность Тихо и его Ураниборга побудила многих ученых, а также высокопоставленных особ к «паломничеству» на остров Гвен. Надо заметить, что Тихо и с королями и с крестьянами вел себя, как говорят, на равной ноге. Всякое услужничество и раболепие было совершенно чуждо его натуре. К сожалению, эти качества и погубили великого астронома. Однажды канцлер Дании Вальтендорф во время посещения Ураниборга жестоко избил любимого дога Тихо. Астроном не стерпел и в крайне резких выражениях высказал главе датского правительства все, что он о нем думает. В результате из-за травли и интриг со стороны Вальтендорфа Тихо в 1597 году был вынужден навсегда покинуть Данию. Он попробовал обосноваться в Праге, где нашел себе покровителя в лице императора Рудольфа II. Но Пражская обсерватория, куда Тихо перевез часть своих инструментов, ни в какое сравнение не могла идти с Ураниборгом. Правда, здесь у Тихо Браге появился молодой помощник, бедный юноша по имени Иоганн Кеплер — один из будущих основоположников новой астрономии. Но никаких новых открытий в Праге Тихо не сделал. Дух его был надломлен и в 1601 году после мучительной болезни Тихо Браге скончался.

На его могильном памятнике есть надпись — «Я жил недаром». Рассказывают, что, чувствуя приближение смерти, Тихо говорил так о себе своим близким. Можно, впрочем, согласиться с этой горделивой самооценкой. Тихо Браге был величайшим наблюдателем в дотелескопический период развития астрономии. Он достиг максимума того, что мог дать невооруженный глаз для угловых измерений на небе. Наблюдения Тихо Браге послужили той эксперимен-

тальной основой, опираясь на которую Иоганн Кеплер открыл свои знаменитые законы движения планет.

Всего лишь несколько лет Тихо Браге не дожид до того момента, когда был изобретен телескоп, сразу раскрывший перед человечеством неисчерпаемую сложность мироздания. Астрономия до начала XVII века была, в сущности, астрометрией — наукой об угловых измерениях на небесной сфере. С изобретением телескопа зародилась астрофизика — основа современной астрономии.

ЧЕМПИОНАТ ТЕЛЕСКОПОВ

«Я вне себя от изумления, так как уже успел убедиться, что Луна представляет собой тело, подобное Земле».

Г. Галилей (1610 г.)

Первые телескопы

Трудно сказать, кто первый изобрел телескоп. Известно, что еще древние употребляли увеличительные стекла. Дошла до нас и легенда о том, что якобы Юлий Цезарь во время набега на Британию с берегов Галлии рассматривал в подзорную трубу туманную британскую землю. Роджер Бэкон, один из наиболее замечательных ученых и мыслителей XIII века, в одном из своих трактатов утверждал, что он изобрел такую комбинацию линз, с помощью которой отдаленные предметы при рассматривании их кажутся близкими.

Так ли это было в действительности — неизвестно. Бесспорно, однако, что в самом начале XVII века в Голландии почти одновременно об изобретении подзорной трубы заявили три оптика — Липперсгей, Мецциус и Янсен. Рассказывают, что будто бы дети одного из оптиков, играя с линзами, случайно расположили две из них так, что далекая колокольня вдруг показалась близкой. Как бы там ни было, к концу 1608 года первые подзорные трубы были изготовлены и слухи об этих новых оптических инструментах быстро распространились по Европе.

В Падуе в это время уже пользовался широкой известностью Галилео Галилей, профессор местного университета, красноречивый оратор и страстный сторонник учения Коперника. Услышав о новом оптическом инструменте, Галилей решил собственноручно построить подзорную трубу. Сам он рассказывает *) об этом так:

*) Цитирую по книге Б. Г. Кузнецова «Галилей», «Наука», 1964, стр. 71.

«Месяцев десять тому назад стало известно, что некий фламандец построил перспективу, при помощи которой видимые предметы, далеко расположенные от глаз, становятся отчетливо различимы, как будто они находятся вблизи. Это и было причиной, по которой я обратился к изысканию оснований и средств для изобретения сходного инструмента. Вскоре после этого, опираясь на учение о преломлении, я постиг суть дела и сначала изготовил свинцовую трубу, на концах которой я поместил два оптических стекла, оба плоских с одной стороны, с другой стороны одно стекло выпукло-сферическое, другое вогнутое».

Этот первенец телескопической техники давал увеличение всего в три раза. Позже Галилею удалось построить более совершенный инструмент, увеличивающий в 30 раз. И тогда, как пишет Галилей, «оставив дела земные, я обратился к небесным».

7 января 1610 года навсегда останется памятной датой в истории человечества. Вечером этого дня Галилей впервые направил построенный им телескоп*) на небо. Он увидел то, что предвидеть заранее было невозможно. Луна, испещренная горами и долинами, оказалась миром, сходным хотя бы по рельефу с Землей. Планета Юпитер предстала перед глазами изумленного Галилея крошечным диском, вокруг которого обращались четыре необычные звездочки — его спутники. Картина эта в миниатюре напоминала Солнечную систему по представлениям Коперника. При наблюдениях в телескоп планета Венера оказалась похожей на маленькую Луну. Она меняла свои фазы, что свидетельствовало о ее обращении вокруг Солнца. На самом Солнце (закрыв глаза темным стеклом) Галилей увидел черные пятна, опровергнув тем самым общепринятое учение Аристотеля о «неприкосновенной чистоте небес». Эти пятна смещались по отношению к краю Солнца, из чего Галилей сделал правильный вывод о вращении Солнца вокруг оси.

В темные прозрачные ночи в поле зрения галилеевского телескопа было видно множество звезд,

*) Название «телескоп» было присвоено новому инструменту по решению итальянской Академии наук.

недоступных невооруженному глазу. Некоторые туманные пятна на ночном небе оказались скопищами слабо светящихся звезд. Великим собранием скученно расположенных звездочек оказался и Млечный Путь — беловатая, слабо светящаяся полоса, опоясывающая все небо.

Несовершенство первого телескопа помешало Галилею рассмотреть кольцо Сатурна. Вместо кольца он увидел по обе стороны Сатурна два каких-то странных придатка и в своем «Звездном вестнике» — дневнике наблюдений — Галилей был вынужден записать, что «высочайшую планету» (то есть Сатурн) он «тройною наблюдал».

Открытия Галилея положили начало *телескопической астрономии*. Но его телескопы (рис. 11), утвердившие окончательно новое коперниканское мировоззрение, были очень несовершенны. Уже при жизни Галилея им на смену пришли теле-

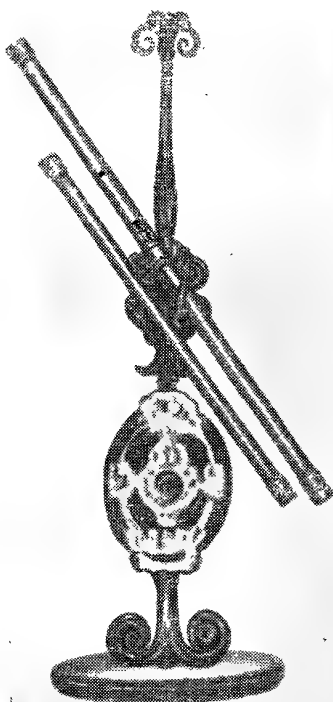


Рис. 11. Телескопы Галилея.

скопы несколько иного типа. Изобретателем нового инструмента был уже знакомый нам Иоганн Кеплер. В 1611 году в трактате «Диоптрика» Кеплер дал описание телескопа, состоящего из двух двояковыпуклых линз. Сам Кеплер, будучи типичным астрономом-теоретиком, ограничился лишь описанием схемы нового телескопа, а первым, кто построил такой телескоп и употребил

его для астрономических целей, был иезуит Шейнер, оппонент Галилея в их горячих спорах о природе солнечных пятен.

Рассмотрим оптические схемы и принцип действия галилеевского и кеплеровского телескопов*). Линза *A*, обращенная к объекту наблюдения, называется *объективом*, а та линза *B*, к которой прикладывает

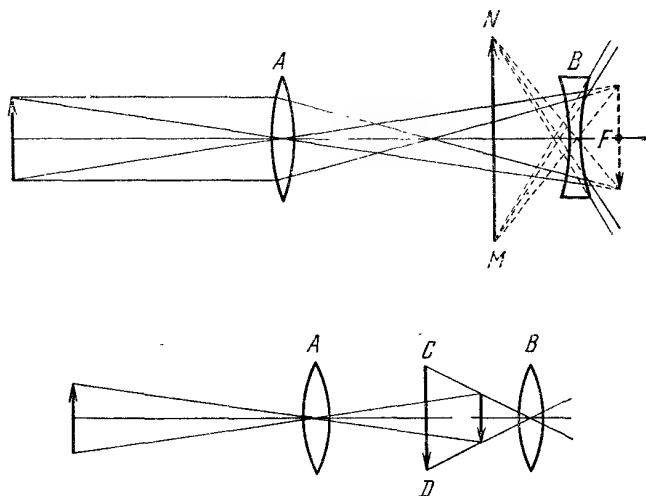


Рис. 12. Галилеевский (вверху) и кеплеровский телескопы (схема)

свой глаз наблюдатель — *окуляром*. Если линза толще посередине, чем на краях, она называется *собирающей* или *положительной*, в противном случае — *рассеивающей* или *отрицательной*. Заметим, что в телескопе самого Галилея объективом служила плоско-выпуклая линза, а окуляром — плоско-вогнутая. По существу, галилсеевский телескоп был прообразом современного театрального бинокля, в котором используются двояковыпуклые и двояковогнутые линзы. В телескопе Кеплера и объектив и окуляр были положительными двояковыпуклыми линзами.

*) Зеркальным телескопам — рефлекторам — посвящен особый раздел.

Представим себе простейшую двояковыпуклую линзу, сферические поверхности которой имеют одинаковую кривизну. Прямая, соединяющая центры этих поверхностей, называется *оптической осью* линзы. Если на такую линзу падают лучи, идущие параллельно оптической оси, они, преломляясь в линзе, собираются в точке оптической оси, называемой *фокусом* линзы. Расстояние от центра линзы до ее фокуса называют фокусным расстоянием. Нетрудно сообразить, что чем больше кривизна поверхностей собирающей линзы, тем меньше ее фокусное расстояние. В фокусе такой линзы всегда получается *действительное* изображение предмета.

Иначе ведут себя рассеивающие, отрицательные линзы. Падающий на них параллельно оптической оси пучок света они рассеивают и в фокусе такой линзы сходятся не сами лучи, а их продолжения. Потому рассеивающие линзы имеют, как говорят, *мнимый фокус* и дают *мнимое* изображение.

На рис. 12 показан ход лучей в галилеевском телескопе. Так как небесные светила, практически говоря, находятся «в бесконечности», то изображения их получаются в *фокальной плоскости*, то есть в плоскости, проходящей через фокус F и перпендикулярной к оптической оси. Между фокусом и объективом Галилей поместил рассеивающую линзу, которая давала *мнимое, прямое и увеличенное* изображение MN .

Главным недостатком галилеевского телескопа было очень малое *поле зрения* — так называют угловой поперечник кружка неба, видимого в телескоп. Из-за этого наводить телескоп на небесное светило и наблюдать его Галилею было очень трудно. По той же причине галилеевские телескопы после смерти их изобретателя в астрономии не употреблялись и их реликтом можно считать современные театральные бинокли.

В кеплеровском телескопе (см. рис. 12) изображение CD получается действительное, увеличенное и *перевернутое*. Последнее обстоятельство, неудобное при наблюдениях земных предметов, в астрономии несущественно — ведь в космосе нет какого-то абсолютного верха или низа, а потому небесные тела не

могут быть повернутыми телескопом «вверх ногами».

Первое из двух главных преимуществ телескопа — это увеличение угла зрения, под которым мы видим небесные объекты. Как уже говорилось, человеческий глаз способен в отдельности различать две части предмета, если угловое расстояние между ними не меньше одной минуты дуги. Поэтому, например, на Луне невооруженный глаз различает лишь крупные детали, поперечник которых превышает 100 км. В благоприятных условиях, когда Солнце затянуто облачной дымкой, на его поверхности удается рассмотреть самые крупные из солнечных пятен. Никаких других подробностей невооруженный глаз на небесных телах не видит. Телескопы же увеличивают угол зрения в десятки и сотни раз.

Второе преимущество телескопа по сравнению с глазом заключается в том, что телескоп собирает гораздо больше света, чем зрачок человеческого глаза, имеющий даже в полной темноте диаметр не больше 8 мм. Очевидно, что количество света, собираемого телескопом, во столько раз больше того количества, которое собирает глаз, во сколько площадь объектива больше площади зрачка. Иначе говоря, это отношение равно отношению квадратов диаметров объектива и зрачка.

Собранный телескопом свет выходит из его окуляра концентрированным световым пучком. Наименьшее его сечение называется *выходным зрачком**). В сущности, *выходной зрачок* — это изображение объектива, создаваемое окуляром. Можно доказать, что увеличение телескопа (то есть увеличение угла зрения по сравнению с невооруженным глазом) равно отношению фокусного расстояния объектива к фокусному расстоянию окуляра. Казалось бы, увеличивая фокусное расстояние объектива и уменьшая фокусное расстояние окуляра, можно достичь любых увеличений. Теоретически это так, но практически все выглядит иначе. Во-первых, чем больше употребляемое в телескопе увеличение, тем меньше его поле зрения. Во-вторых, с ростом увеличения становятся все за-

*) У галилеевской трубы выходного зрачка нет.

метнее движения воздуха. Неоднородные воздушные струи размазывают, портят изображение и иногда то, что видно при малых увеличениях, пропадает для больших. Наконец, чем больше увеличение, тем бледнее, тусклее изображение небесного светила (например, Луны). Иначе говоря, с ростом увеличения хотя и видно больше подробностей на Луне, Солнце и планетах, но зато уменьшается поверхностная яркость их изображений. Есть и другие препятствия, мешающие применять очень большие увеличения (например, в тысячи и в десятки тысяч раз). Приходится искать некоторый оптимум и потому даже в современных телескопах, как правило, наибольшие увеличения не превосходят нескольких сотен раз.

При создании телескопов со времен Галилея придерживаются следующего правила: выходной зрачок телескопа не должен быть больше выходного зрачка наблюдателя. Легко сообразить, что в противном случае часть света, собранного объективом, будет напрасно потеряна. Очень важной величиной, характеризующей объектив телескопа, является его *относительное отверстие*, то есть отношение диаметра объектива телескопа к его фокусному расстоянию. *Светосилой* объектива называется квадрат относительного отверстия телескопа. Чем «светосильнее» телескоп, то есть чем больше светосила его объектива, тем более яркие изображения объектов он дает. Количество же света, собираемого телескопом, зависит лишь от диаметра его объектива (но не от светосилы!). Из-за явления, именуемого в оптике дифракцией, при наблюдениях в телескопы яркие звезды кажутся небольшими дисками, окруженными несколькими концентрическими радужными кольцами. Разумеется, к настоящим дискам звезд дифракционные диски никакого отношения не имеют.

В заключение сообщим читателю основные технические данные о первых галилеевских телескопах. Меньший из них имел диаметр объектива 4 см при фокусном расстоянии 50 см (его относительное отверстие было равно $4/50 = 0,08$). Он увеличивал угол зрения всего в три раза. Второй, более совершенный телескоп, с помощью которого Галилей совершил свои великие открытия, имел объектив диаметром 4,5 см

при фокусном расстоянии 125 см и давал увеличение в 34 раза. При наблюдениях в этот телескоп Галилей различал звезды до 8-й звездной величины, то есть в 6,25 раз более слабые, чем те, которые еле видит на ночном небе невооруженный глаз.

Таково было скромное начало развернувшегося позже «чемпионата» телескопов — длительной борьбы за усовершенствование этих главных астрономических инструментов.

Динозавры телескопической техники

До сих пор, рассуждая о ходе световых лучей в телескопе, мы считали эти лучи идеальными геометрическими прямыми, а точки их схождения — идеальными математическими точками. В действительности все обстоит гораздо сложнее. Прежде всего астрономам приходится сталкиваться с так называемой *дифракцией* света (подробнее см. стр. 110). Суть же этого явления заключается в следующем.

Представьте себе поток световых лучей, падающих на объектив телескопа. Плоскость, перпендикулярную к направлению лучей, назовем фронтом световой волны. Согласно так называемому принципу Гюйгенса каждую точку фронта волны можно рассматривать как самостоятельный источник света, посылающий лучи во все стороны. Принимая этот принцип, можно доказать, что изображение звезды, создаваемое телескопом, никогда не будет точечным, как того требуют законы «идеальной» геометрической оптики. Оно, это изображение, выглядит светлым кружочком, окруженным несколькими концентрическими кольцами, причем с удалением от изображения звезды яркость дифракционных колец быстро уменьшается, а ширина возрастает.

Настоящие диски звезд ни в один даже самый крупный современный телескоп рассмотреть невозможно. Дифракционные диски, особенно хорошо заметные у ярких звезд, — неизбежная помеха при астрономических наблюдениях. Теория показывает, что угловой радиус r дифракционного диска (в секун-

дах дуги) для желто-зеленых лучей, к которым глаз наиболее чувствителен, определяется простой формулой:

$$r = \frac{14}{D},$$

где D — диаметр объектива телескопа в сантиметрах. Значит, чем больше объектив телескопа, тем меньше дифракционные диски наблюдаемых в него звезд, а значит, тем выше *разрешающая сила* телескопа, то есть тем мельче подробности, различаемые с его помощью.

Так, например, если в телескоп наблюдается двойная звезда и оба ее компонента на небе так близки друг к другу, что их дифракционные диски сливаются, то ни в один окуляр (то есть ни при каком увеличении) различить эти звезды в отдельности не удастся. Следовательно, разрешающая сила телескопа полностью определяется поперечником его объектива.

Казалось бы, отсюда вытекает естественный практический вывод: надо строить телескопы с возможно большим диаметром объектива. Однако изготовление крупных оптических линз — необычайно сложная даже для современной техники задача. Нужно очень прозрачное, совершенно однородное стекло, с правильно отшлифованными поверхностями. Малейшие отклонения от этих весьма жестких норм сводят на нет все усилия и линзу приходится браковать. Но если даже все кончится хорошо и линза изготовлена по всем правилам высшего оптического искусства, она неизбежно будет создавать искажение изображений, то есть, как говорят оптики, *абберации*.

Одна из главных аббераций линз — так называемая *хроматическая абберация*. Выражается она в том, что лучи разного цвета линза преломляет по-разному — сильнее всего фиолетовые, слабее других — красные. Поэтому для лучей разного цвета и фокусы получаются разные (рис. 13, вверху). Из них самый близкий к объективу «фиолетовый» фокус, самый дальний — «красный». В результате наблюдатель видит в телескопе окрашенные в «радужные» цвета изображения небесных тел. Особенно заметны радужные ореолы на краях изображения.

Хроматическая aberrация создает большие неудобства. Она искажает действительную окраску космического объекта, портит его изображение в телескопе.

Другой недостаток линз — *сферическая aberrация*. Суть ее в том, что края линзы сильнее преломляют световые лучи, чем ее центральная часть. Из-за этого, независимо от цвета лучей, разные лучи будут собираться в разных фокусах (рис. 13, внизу). В итоге изображение в телескопе не будет повсюду одинаково

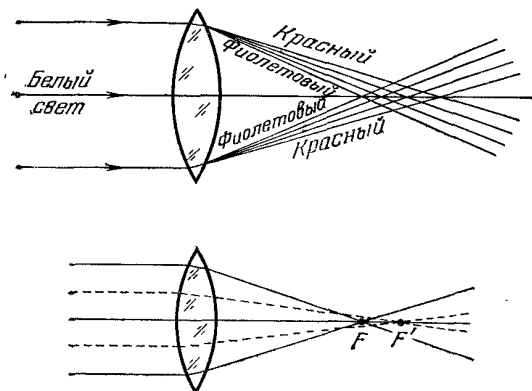


Рис. 13. Хроматическая (вверху) и сферическая aberrации.

четким — либо четки его края и тогда размыта, размазана его середина, либо наоборот.

Если лучи от звезды падают наклонно по отношению к оптической оси телескопа, то возникает еще одна aberrация, называемая *комой*. Она выражается в том, что по краям поля зрения звезды похожи на маленькие хвостатые кометы. Из-за *дисторсии* (еще один недостаток линз!) изображение к краям поля зрения растягивается, а прямые линии искривляются. Есть и другие aberrации, например, *астигматизм*, при котором изображения звезд растягиваются в светлые черточки. Словом, линзы обладают множеством естественных недостатков, в принципе неустранимых (если речь идет об однолинзовых объективах и окулярах).

Уже первые конструкторы телескопов заметили, что действия двух главных aberrаций — хроматической и сферической — заметно ослабляются, если применять длиннофокусные объективы сравнительно небольшого диаметра (порядка 10 см). В этом случае при очень малой светосиле масштаб изображения увеличивается, а обе aberrации становятся почти незаметными.

Удивительный облик имели длиннофокусные телескопы XVII и XVIII веков (рис. 14). Их трубы длиной

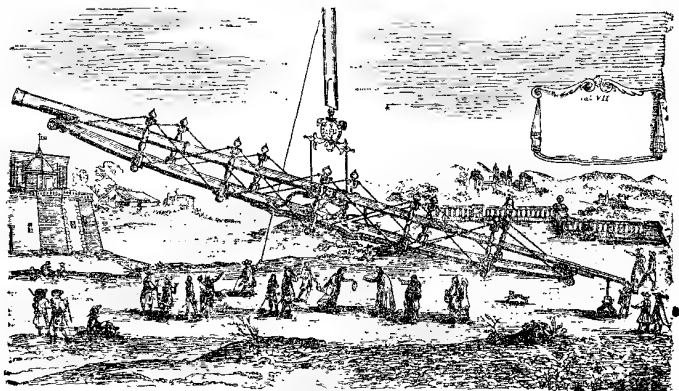


Рис. 14. Рефрактор XVII века.

в 30, а иногда и 40 метров с помощью сложной системы блоков укреплялись на высоких мачтах, а наблюдатель окулярную часть телескопа держал в руках. Трубы сравнительно коротких телескопов (примерно до 30 м) делались сплошными, а более длинные — ажурными. Управлять таким телескопом было очень трудно и потому при наблюдениях астроному помогали несколько ассистентов. Из-за суточного движения и маленького поля зрения астрономические объекты непрерывно ускользали от глаз наблюдателя, который должен был непрерывно перемещаться по земле (примерно на четверть метра в минуту). Порой и вовсе отказывались от тубуса (трубы) телескопа, предпочитая «воздушную систему». В этом случае объектив укреплялся высоко на мачте, а окуляр на-

блюдатель держал в руках! Для удобства наблюдений (если вообще здесь можно говорить о каком-либо удобстве) оправа объектива соединялась с окуляром специальным шнуром (рис. 15). Воздушные телескопы, эти динозавры телескопической техники, достигали иногда поистине исполинских размеров. Так, например, Ян Гевелий, знаменитый польский астроном

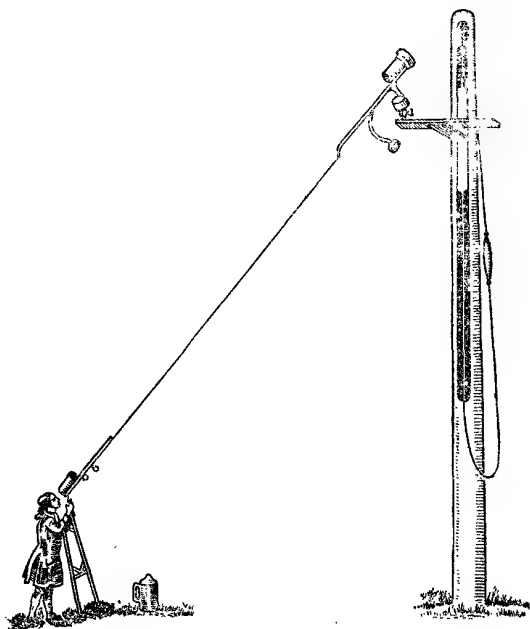


Рис. 15. «Воздушный» телескоп.

XVII века, работал с воздушным телескопом длиной около 50 м; Христиан Гюйгенс, голландец по происхождению, большую часть жизни проведший во Франции, пользовался воздушным телескопом длиной 64 м. Но все эти рекорды были побиты А. Озу, который в 1664 году во Франции соорудил воздушный телескоп длиной 98 м! По длине телескоп Озу остался чемпионом и донныне. Но качества его были так плохи, а на-

блюдать с ним было так неудобно, что в изучении Вселенной Озу не сделал ни одного открытия.

Иные результаты получили такие великие наблюдатели XVII столетия, как Гюйгенс, Гевелий и Жан Кассини. Редкое терпение и большое искусство наблюдения с необычайно громоздкими телескопами были награждены очень важными открытиями. Галилей из-за аберрации не мог рассмотреть кольцо Сатурна — ему мерещились какие-то два придатка этой планеты. Гюйгенс был первым, кто ясно увидел, что (как он писал) Сатурн «кольцом окружен тонким, плоским, нигде не прикасающимся к эклиптике наклоненным». Он же открыл Титан — главный спутник Сатурна.

Гевелий положил начало селенографии — подробному описанию рельефа лунной поверхности. Его труд «Селенография», изданный впервые в 1647 году — плод личных многолетних наблюдений Луны. Хотя телескопы Гевелия были очень громоздки и несовершенны, ему удалось составить каталог 1564 звезд, гораздо более точный и подробный, чем каталог Тихо Браге.

Жан Доминик Кассини, родоначальник известной династии французских астрономов, с помощью воздушных телескопов (!) открыл четыре спутника Сатурна, названные им Япет, Рея, Диона и Тефия. Ему же удалось в кольце Сатурна увидеть тонкую щель, названную позже его именем. Жан Кассини составил одну из первых подробных карт Луны, а также открыл «моря» и полярные шапки Марса. Вместе с Гюйгенсом, впервые замечавшим полосы в атмосфере Юпитера, Жан Кассини положил начало планетологии — отрасли астрономии, изучающей физическую природу планет и их эволюцию.

Галилей не имел какой-либо специально оборудованной обсерватории — его легкие и небольшие телескопы были, как мы теперь говорим, переносными инструментами. Ян Гевелий соорудил личную обсерваторию на крыше своего дома, где работал с небольшими инструментами. Воздушный же 50-метровый телескоп был установлен на обширном поле, откуда открывался широкий горизонт. Гевелий сам изготавливал свои телескопы — в те времена специально оптикамеханика и астронома сочетались в одном

лице. Кстати сказать, во всех его трудах и наблюдениях Гевелию усердно помогала его жена, бывшая к тому же неплохой вычислительницей. Кажется, она была одной из первых в истории человечества женщины-астрономов.

В 1671 году в Париже была основана первая государственная обсерватория, директором которой стал Жан Кассини. Ее оборудовали лучшими астрономическими инструментами. Любопытно, что наряду с квадрантами и другими угломерными инструментами древней астрономии здесь использовались воздушные телескопы длиной 10, 30 и 40 метров.

Четыре года спустя в Англии начала свою деятельность Гринвичская обсерватория, первым директором (Королевским астрономом) которой стал Д. Флемстид. В отличие от Парижской обсерватории, где закладывались основы астрофизики, Гринвичская обсерватория с самого начала приобрела астрометрический уклон. Она предназначалась для практических целей, для нужд мореплавания и потому английские астрономы занимались главным образом измерениями точного положения звезд и планет. Благодаря использованию микрометра, точность в определении координат звезд возросла до $10''$. В Гринвиче не было длиннофокусных, в частности, воздушных телескопов. Главными инструментами Гринвичской обсерватории служили секстант с радиусом 2,1 м, метровый квадрант и телескопы с фокусными расстояниями 2,1 и 4,6 м.

Вторым директором Гринвичской обсерватории (Королевским астрономом) стал Эдмунд Галлей, открывший собственное движение звезд и периодическое обращение комет вокруг Солнца. В начале XVIII века третьим королевским астрономом был назначен Д. Бадлей. В отличие от своих предшественников, он воспользовался длинным 65-метровым воздушным телескопом и с его помощью открыл годичную аберрацию — кажущееся смещение звезд, вызванное обращением Земли вокруг Солнца. Эта аберрация света не связана с расстоянием до звезды, а вызвана сложением скорости света со скоростью орбитального движения нашей планеты.

Первые успехи телескопической техники не могли, конечно, заслонить ее недостатки. Длиннофокусные, в частности, воздушные телескопы явно вели в тупик. Они ослабляли аберрации, но не устраняли их. По необходимости приходилось пользоваться небольшими объективами с диаметрами, не большими 10—20 см. И если бы в ту пору кому-нибудь посчастливилось изготовить объектив с поперечником в 1 м, то для маломальски приличных изображений соответствующий телескоп должен был бы иметь длину около двух километров!

Ясно, что решение проблемы находилось не на этом пути. Телескопы с однолинзовыми объективами и окулярами к середине XVIII столетия изжили себя. Выход был найден в использовании многолинзовых оптических систем.

Устранение аберраций

На школьных уроках физики иногда показывают нехитрый опыт. Небольшой диск, секторы которого раскрашены в «семь цветов радуги», приводят в быстрое вращение. И разноцветный диск неожиданно становится белым! Произошло, как говорят, смещение цветов, нечто обратное *дисперсии света*, то есть разложению белого луча света на составные разноцветные лучи. Важно заметить, что ощущение белого цвета создается не только от смещения всех цветов спектра, но и от соединения некоторых простых цветных лучей, как, например, красного и голубовато-зеленого, желтого и синего, зеленого и пурпурного. Все такие цвета называются *дополнительными*.

Отсюда ясен и принцип создания *ахроматического* объектива, то есть объектива, не дающего окрашенные изображения. Представим себе объектив, состоящий из двух линз — двояковыпуклой *A* и плоско-вогнутой *B* (рис. 16). Обе они обладают хроматическими аберрациями, но действия этих линз противоположны. Лучи света, пройдя двояковыпуклую линзу, затем преломляются в рассеивающей плоско-вогнутой линзе, которая, в отличие от первой, *удлиняет* фокусное расстояние для синих лучей и укорачивает его для

красных. Степень преломления в линзах зависит не только от формы их поверхностей, но и от сорта стекла, то есть от показателя преломления этой прозрачной среды. Чем плотнее, или, как иногда говорят, «тяжелее стекло», тем сильнее преломляет оно лучи. Таким образом, две совершенно одинаковые двояковыпуклые линзы, изготовленные из разного стекла, имеют разные фокусы — у «тяжелой» линзы он короче, чем у более легкой.

Если в рассматриваемом нами сложном объективе подобрать соответствующую кривизну для поверхностей линз, а также разные сорта их стекол, то в принципе можно достичь желаемого — все разноцветные

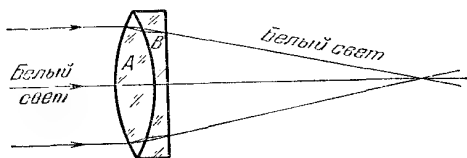


Рис. 16. Ахроматический объектив.

лучи практически соберутся в одной точке и изображение получится неокрашенным.

Теоретически возможность создания ахроматических объективов была доказана еще в 1695 году известным английским оптиком Д. Грегори.

В 1733 году Ч. Холл нашел, что двояковыпуклую линзу следует изготовить из «кронгласа» — «легкого» стекла, содержащего кремнекислоту с примесью калия. Это стекло, сравнительно слабо рассеивающее свет, используется и для оконных стекол. Вторая же рассеивающая линза, как доказал Холл, должна состоять из «тяжелого», сильно рассеивающего сорта стекла, так называемого «флинтгласа», содержащего в качестве примеси окись свинца. По заказу Холла были изготовлены несколько двухлинзовых объективов с диаметром 5 см и фокусным расстоянием 5 м, однако плохое качество стекол сильно ухудшало видимость небесных светил.

Труды Холла были продолжены Джоном Доллондом, достигшим в создании ахроматических объективов больших успехов. Объяснялось это не только

высоким мастерством Доллонда, научившимся чисто опытным путем подбирать нужные кривизны линз и сорт их стекла, но и чистой случайностью: в мастерских Доллонда оказались крупные блоки очень однородного и чистого флинта. Когда кончились эти запасы, качество доллондовых труб заметно ухудшилось.

Пусть этот факт не удивляет читателя. Во второй половине XVIII столетия (с 1758 года), когда работал Доллонд, техника изготовления хорошего оптического стекла оставалась очень примитивной. Расплавленное стекло в течение нескольких дней вручную размещивали в глиняных тиглях, стремясь достичь полной однородности и прозрачности стеклянной массы. После остывания стеклянная масса из-за неравномерности охлаждения растрескивалась и распадалась на много кусков, как правило, не очень крупных. Эти осколки подвергались вторичной плавке, во время которой им придавалась форма круглых толстых стеклянных пластинок. Наконец эти остывшие блоки подвергались шлифовке, а иногда и новой переплавке в специальных тиглях, из которых блоки выходили в форме линз. Заметим, что охлаждение первичных блоков растягивалось на несколько месяцев. Тонкая же шлифовка линз требовала еще больших сроков.

Как бы там ни было, уже первые ахроматические телескопы Доллонда произвели переворот в телескопической технике. Телескоп Гюйгенса длиной 64 м давал худшие изображения, чем ахромат Доллонда длиной всего около полутора метров. Доллонд обнаружил, однако, что полностью избавиться от хроматической аберрации практически невозможно — некоторая окраска изображения (или, как говорят, вторичный спектр) все же остается. Позже для «визуальных» рефракторов вторичный спектр оставляли в виде желто-зеленых лучей, к которым наиболее чувствителен человеческий глаз. Для фотографических же наблюдений удобнее коротковолновый синий или фиолетовый вторичный спектр. В поисках новых средств для уменьшения хроматической аберрации Доллонд изобрел *апохроматический* объектив, состоящий из трех линз — двояковогнутой, расположенной между двояковыпуклой и плоско-вогнутой. Из-за сложности изготовления апохроматы до сих пор являются большой

редкостью. Зато качество изображений в них превосходное.

Дальнейшее совершенствование ахроматических рефракторов выразилось в постепенном увеличении диаметра их объектива и улучшении качества оптического стекла. В этом деле в начале XIX века особенно преуспел немецкий оптик и астроном Иосиф Фраунгофер. Когда Наполеон ввел континентальную блокаду, из Англии в Европу перестали поступать «доллонды». Как их строить, никто не знал. Лишь Фраунгофер, с юных лет очень тщательно изучавший оптику, нашел выход из положения. Он сам стал изготавливать высококачественный флинтглас, изобрел новые, более совершенные шлифовальные машины и вскоре добился того, что его рефракторы и по размерам и по качеству значительно превзошли «доллонды».

Крупнейший из рефракторов Доллонда имел объектив диаметром 4 дюйма*). Первый же из телескопов Фраунгофера был почти вдвое больше — он обладал ахроматическим 7-дюймовым объективом. В 1818 году Фраунгофер начал изготовление 9-дюймового рефрактора. Этот инструмент был лучшим творением знаменитого немецкого оптика. В 1824 году его установили на Дерптской обсерватории и некоторое время он оставался крупнейшим рефрактором мира. Дерптский рефрактор был снабжен часовым механизмом, вращавшим его в сторону суточного движения звезд. На окулярном его конце употребляли для угловых измерений высокоточный микрометр. Словом, фраунгоферовский 9-дюймовый рефрактор считался в ту пору высшим достижением телескопической техники. На нем было измерено расстояние до звезды Веги.

В 1826 году преждевременная смерть помешала Фраунгоферу создать более крупные инструменты. Но его преемники и ученики Мерц и Малер продолжили его дело. В 1839 году им удалось изготовить для новой Пулковской обсерватории великолепный 15-дюймовый рефрактор, который восемь лет сохранял первенство среди рефракторов мира. При диаметре объектива 38 см пулковский рефрактор имел в длину около 7 м. Он был удобен в обращении и отли-

*) 1 дюйм равен 25 мм.

чался превосходными оптическими качествами. Большой рефрактор с объективом в 18 дюймов Мерцу удалось изготовить для Миланской обсерватории лишь в 1879 году.

Еще Гюйгенс предложил в качестве окуляра использовать систему из двух плоско-выпуклых линз, направленных выпуклостью в одну сторону (рис. 17, слева). Позже Рамсенд предложил сходный окуляр, где плоско-выпуклые линзы обращены выпуклостью друг к другу (рис. 17, справа). В отличие от окуляра Гюйгенса, окуляр Рамсдена можно использовать как обыкновенную лупу.

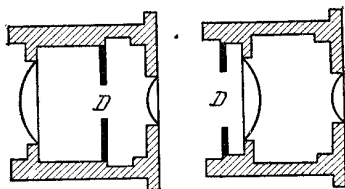


Рис. 17. Окуляры Гюйгенса (слева) и Рамсдена. D — диафрагма.

Оба типа окуляров хотя и лучше однолинзовых, но все же и у них оставались многие aberrации. Для максимально возможного устранения этих искажений были созданы многолинзовые сложные окуляры, обеспечивающие высокое качество изображения в сочетании с большим полем зрения. Кстати сказать, ахроматические оптические системы и объективов и окуляров в лучших своих вариантах уменьшают не только хроматическую, но и сферическую и другие типы aberrаций. Полное устранение всех искажений — вот к чему уже третий век стремится телескопическая техника.

Старинные обсерватории России

Уже спустя шесть лет после изобретения зрительных труб в Москве появились заморские диковины — «трубочки, что дальнее, а в них смотря, видится близко». В описях дворцового имущества первых Романовых

встречается перечень зрительных труб, которые, видимо, употреблялись больше для забавы, чем для каких-либо серьезных целей.

Вскоре появились в России и угломерные астрономические инструменты, завезенные с Запада. Однако до конца XVII века, по-видимому, никто их для научных целей не использовал. В начале второй половины XVII века в России был опубликован перевод книги Гевелия «Селенография», что способствовало распространению астрономических знаний среди просвещенной части тогдашнего русского общества. Первым русским астрономом принято считать Алексея Артемьевича Любимова, известного в исторической литературе под именем Афанасия, архиепископа Холмогорского.

В последнем десятилетии XVII века на побережье Ледовитого океана, в далеких от столицы Холмогорах, Афанасий занимался астрономическими наблюдениями в специально оборудованном для этой цели помещении. Судя по дошедшим до нас документам, Афанасий устроил обсерваторию в «задней келье» своего дома. К 1691 году в Холмогорах завершили строительство каменного собора, построенного под руководством Афанасия. Вполне возможно, что высокую колокольню этого собора Афанасий использовал как астрономическую вышку (что позже русские астрономы делали не раз). К сожалению, сведения о научной деятельности Афанасия крайне скудны и мы не знаем ни характера, ни результатов его астрономических наблюдений. На Куроострове, всего в двух километрах от Холмогор, в 1711 году, спустя девять лет после смерти Афанасия, родился Михаил Васильевич Ломоносов. В юности он, несомненно, слышал рассказы об Афанасии и его обсерватории, так что вполне возможно, что эти рассказы возбудили у Ломоносова интерес к астрономии.

Эпоха великих преобразований, связанных с энергичной деятельностью Петра и его соратников, была вместе с тем эпохой зарождения в России астрономической науки. Сам Петр, как известно, высоко ценил астрономические знания, понимая их значение для кораблеводства и картографии. Во время зарубежных

путешествий Петр посетил Гринвичскую, Парижскую и Копенгагенскую обсерватории, где произвел самостоятельно астрономические наблюдения. В разных европейских странах Петр приобретал телескопы и угломерные инструменты, предполагая организовать в России научные астрономические наблюдения с их практическим выходом в теорию кораблевождения и геодезию. Особенно интересовали Петра солнечные затмения и солнечные пятна, которые он неоднократно наблюдал. Под руководством Петра началось систематическое картографирование нашей Родины, невозможное без астрономических определений широты и долготы. Весьма успешной оказалась экспедиция по картографированию Каспийского моря, об очертаниях и размерах которого в Европе были самые смутные представления. Подробную карту побережья Каспийского моря, составленную по заданию и под руководством Петра, высоко оценили на западе и Парижская Академия наук по этому случаю избрала Петра своим членом. Но Петра гораздо больше волновали не почетные звания, а дальнейшее развитие отечественной науки. Задумав учредить в России собственную Академию наук, Петр в проекте этого крупнейшего научного учреждения России предусмотрел и государственную астрономическую обсерваторию.

Впрочем, еще раньше (в 1700 году) в здании Московской Сухаревой башни, несколько напоминавшей адмиральский корабль тех времен, Петр учредил школу математических и « навигацких » наук. Здесь готовились офицерские кадры военно-морского флота и поэтому в 1716 году школа была переведена в новую столицу и преобразована в Санкт-Петербургскую морскую академию.

В первые же 16 лет XVIII века Сухарева башня служила не только школой, но и астрономической обсерваторией, где на одном из верхних этажей вел наблюдения ближайший соратник Петра Яков Вилимович Брюс. Кроме небольших рефракторов на Сухаревской обсерватории находились секстанты и квадранты, а также огромный звездный глобус диаметром более 2 м, вывезенный из Голландии еще при отце Петра. Наблюдения Брюса, как и Петра, носили, по видимому, «ознакомительный» характер. Никаких

открытий в астрономии они не сделали, но их роль в распространении астрономических знаний в России, конечно, очень велика.

В 1726 году, покинув государственную службу, Брюс уединился в своем подмосковном имении Глинки, где целиком предался научным занятиям, главным образом астрономии. Дом Брюса в Глинках имеет по обе свои стороны две обширные лоджии, которые и служили Брюсу площадками для наблюдений. Многие из астрономических инструментов Брюса после его смерти в 1735 году достались в наследство Петербургской академической обсерватории.

Стоит упомянуть и еще об одной частной обсерватории, построенной А. Д. Меншиковым в его Ораниенбаумском дворце. Сам Меншиков вряд ли занимался астрономией, но его обсерваторией пользовался Феофан Прокопович, один из главных иерархов русской церкви и немногих образованнейших людей России. Небольшие частные обсерватории были и в Петербурге.

Первая государственная обсерватория Петербургской Академии наук была сооружена в 1727 году в здании Кунсткамеры на Васильевском острове. Она просуществовала более 40 лет и долгое время оставалась крупнейшей обсерваторией России (рис. 18). Ее первым директором был парижский астроном Жозеф Делиль, приглашенный на постоянную работу в Россию. Здание обсерватории, сохранившееся до сих пор, представляет собой остроконечную башню, расположенную в центре фасада Кунсткамеры. Башня увенчивалась небольшой круглой огороженной площадкой, куда вела наружная винтовая лестница. Таскать по ней инструменты было крайне неудобно и вряд ли верхняя площадка использовалась когда-нибудь для серьезных астрономических наблюдений. Собственно обсерваторией, вероятно, служили верхние круглые залы башни с рядом широких и высоких окон. В таких условиях о длиннофокусных или воздушных телескопах не могло быть и речи. Поэтому на протяжении всей своей истории астрономы Петербургской академической обсерватории употребляли для наблюдений небольшие переносные рефракторы и угломерные инструменты. В частности, в обсерватории находился

квадрант радиусом 45 см со зрительной трубой и астрономические часы. И то и другое было привезено из Франции.

В 1761 году произошло редкое событие — прохождение Венеры перед диском Солнца. Наблюдая это явление из разных мест, можно найти расстояние до Солнца. В Петербургской академической обсерватории в небольшие рефракторы прохождение Венеры

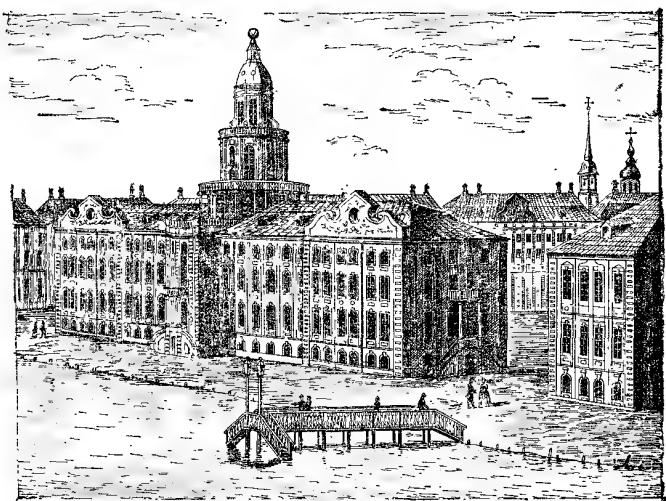


Рис. 18. Петербургская обсерватория.

наблюдали астрономы А. Д. Красильников и Н. Г. Курганов. Но они не заметили того, что заметил М. В. Ломоносов, проводивший одновременно наблюдения на своей домашней обсерватории. Она представляла собой небольшое одноэтажное здание с плоской, огороженной перилами крышей, куда изнутри вела лестница с верхним люком. С этой крыши в доллондовский рефрактор длиной 1,5 м (снабженный темным фильтром) Ломоносов заметил, как при вступлении на край Солнца вокруг Венеры появился ярко светящийся ободок — ее освещенная солнечными лучами «знатная» атмосфера. Это было первое крупное

астрономическое открытие, сделанное русскими астрономами.

В 1824 году на Дерптской обсерватории, как уже говорилось, был установлен ахроматический рефрактор Фраунгофера с поперечником объектива в 24 см. С этим отличным инструментом директор обсерватории В. Я. Струве в 1837 году впервые в истории астрономии измерил расстояние до звезд. Он выбрал для наблюдений Вегу, одну из ярчайших звезд северного полушария неба, и нашел, что расстояние до нее составляет почти 27 световых лет.

В 1835 году, наблюдая комету Галлея в фраунгоферовский рефрактор, В. Я. Струве заметил, что блеск звезд, загороженных хвостом кометы, совершенно не изменился. Отсюда он сделал вывод о крайней разреженности вещества, из которого состоят хвосты комет.

Примерно в то же время, в 1831 году, на окраине Москвы в районе «Трех гор» начала свою деятельность Московская обсерватория, первым директором которой был Д. М. Перевощиков. Первоначальное оборудование обсерватории выглядело скромно — ее главным инструментом служил 4-дюймовый фраунгоферовский рефрактор. Кроме того, имелись различные небольшие, но высокоточные угломерные инструменты. Лишь в 1859 году на Московской обсерватории установили 10-дюймовый рефрактор Фраунгофера. В первой половине XIX века небольшие обсерватории возникли в Казани, Киеве и других русских городах.

Сто лет спустя после основания Петербургской академической обсерватории, в 1827 году, начались поиски места для постройки новой крупной обсерватории. В конце концов выбрали Пулковские высоты, в 30 км от сильно разросшейся столицы. Здесь в 1839 году в торжественной обстановке была открыта знаменитая Пулковская обсерватория, некоторое время считавшаяся астрономической столицей мира. Директором обсерватории был назначен В. Я. Струве, к тому времени уже академик. С момента закладки обсерватории в 1835 году и до ее вступления в строй Струве непосредственно руководил всеми строительными работами.

Главным инструментом Пулковской обсерватории стал великолепный рефрактор работы Мерца и Миллера с диаметром объектива в 15 дюймов (38 см) и длиной 7 м. Его поместили в центральной башне здания, снабженной вращающимся куполом и раздвижным люком. С его помощью В. Я. Струве открыл много новых двойных звезд (его предварительный каталог двойных звезд, опубликованный в 1837 году, содержал 2710 объектов и был лучшим в мире). В 1847 году В. Я. Струве опубликовал монографию «Очерки звездной астрономии», где, вопреки распространенному в ту пору мнению, доказал, что Солнце находится не вблизи центра, а на периферии нашей звездной системы — Галактики. Другой важнейшей работой В. Я. Струве было открытие им поглощения света в межзвездном пространстве.

Пулковская обсерватория была оснащена лучшими в то время угломерными инструментами, позволявшими с невиданной до той поры точностью измерять координаты звезд. Эта кропотливая работа стала одним из главных направлений научной деятельности Пулковской обсерватории. Пулковские звездные каталоги принесли ей всемирную славу.

«Ни один астроном не может считать себя вполне усвоившим современную наблюдательную астрономию в ее наиболее разработанной форме, если он не познакомится с Пулковской обсерваторией во всех ее особенностях, — писал английский астроном прошлого века Эри. — Я ничуть не сомневаюсь в том, — продолжает он, — что одно пулковское наблюдение стоит по меньшей мере двух, сделанных где бы то ни было в другом месте».

Таким образом, к середине прошлого века русская астрономия прочно завоевала международный авторитет. Но совершенствование телескопов продолжалось и первенство 15-дюймового пулковского рефрактора оказалось недолгим.

Рекорды Альвана Кларка

При создании нового рефрактора два обстоятельства определяют успех — высокое качество оптического стекла и искусство его шлифовки. По почину Галилея

многие из астрономов XVII века сами занимались изготовлением линз. В одном лице тогда должны были сочетаться таланты оптика, механика и астронома. Сочетание такого рода встречается не часто и потому уже в следующем XVIII веке функции были разделены: изготовлением линз занимались оптики, механической частью (то есть установкой телескопа) — механики, а наблюдениями — астрономы.

Из оптиков этого далекого прошлого следует вспомнить прежде всего Пьера Гинана, швейцарского рабочего, начавшего в XVIII веке свою карьеру оптика с изготовления очков и примитивных рефракторов с картонными тубусами. Однажды ему удалось увидеть английский «доллонд», и Гинан решил сам во что бы то ни стало научиться изготавливать такие рефракторы. В течение семи лет он пробовал самостоятельно отливать оптические стекла, однако поначалу успеха не имел. Но Гинан был человеком очень настойчивым и неудачи лишь подстрекали его к новым опытам. Он построил новую большую плавильную печь, в которой можно было плавить до 80 кг стекла. На это ушли почти все средства Гинана и много лет его семье пришлось жить впроголодь.

В конце концов упорство было вознаграждено. В 1799 году Гинану удалось отлить несколько отличных дисков поперечником от 10 до 15 сантиметров — успех по тем временам неслыханный. Спустя шесть лет Гинан отправился в Мюнхен, где стал первым инструктором Фраунгофера. В 1814 году, вернувшись во Францию, Гинан изобрел остроумный способ для уничтожения струйчатого строения в стеклянных болванках: отлитые заготовки распиливались и после удаления брака снова спаивались. Тем самым открывался путь к созданию крупных объективов.

Наконец Гинану удалось отлить превосходный диск диаметром 18 дюймов (45 см), который французский оптик Кошуа в 1823 году отшлифовал для Дублинской обсерватории. Это был последний успех Пьера Гинана. После его смерти в 1824 году секреты стекольного производства перешли к его сыну Г. Гинану, который спустя 4 года передал их французской фирме Г. Бонтана. Позже Г. Гинан создал фирму «Фейль — Гинан», которая после кончины Г. Гинана

слилась с фирмой «Парра — Мантуа». Во время революции 1848 года Г. Бонтан переехал в Англию, где стал в Бирмингеме совладельцем стекольной фирмы «Ченс и братья». Вот от этих французских и английских фирм, использовавших секреты Гинана, получил стеклянные диски для крупнейших рефракторов мира знаменитый американский оптик Альван Кларк.

По профессии Кларк был живописец-портретист. В юности он был поденщиком, занимался разными механическими работами и, вероятно, это способствовало его первоначально любительскому увлечению — шлифовке старых линз. По совету старшего сына Джорджа Альван Кларк решил заняться изготовлением телескопов. Так возникла крупнейшая в западном полушарии оптическая фирма «Альван Кларк и сыновья». Объективы изготавливались в американском Кеймбридже, причем испытание их оптических качеств производилось по искусственной звезде в тоннеле длиной 70 метров. Уже к 1853 году Альван Кларк достиг значительных успехов — в изготовленные им рефракторы удалось наблюдать ряд неизвестных ранее двойных звезд.

В 1862 году на Дирборнской обсерватории в штате Миссисипи был установлен 18-дюймовый рефрактор Кларка. В первые же ночи его великолепные оптические качества проявились в полной мере — сын Кларка Джордж обнаружил у Сириуса слабую звездочку — спутник, как оказалось впоследствии, первый белый карлик. Существование спутника по неправильностям в движении Сириуса было предсказано Бесселем, но знаменитый немецкий астроном, конечно, не предполагал, что спутник Сириуса откроет новую главу в астрофизике.

Одиннадцать лет спустя в Вашингтоне на Морской обсерватории начал действовать еще более крупный инструмент — 26-дюймовый рефрактор фирмы «Альван Кларк и сыновья». С помощью этого инструмента Асаф Холл в 1877 году открыл два спутника Марса — Фобос и Деймос. В том же памятном году весь мир облетело сообщение Скиапарелли об открытии на поверхности Марса загадочных «каналов». Разговоры о марсианской цивилизации увлекли многих и в 1894 году в штате Аризона Персиваль Ловелл, бывший ди-

пломат, построил на свои средства крупную обсерваторию, главной задачей которой было решение проблемы об обитаемости Марса. В 1896 году на этой обсерватории появился очередной великолепный рефрактор Кларка с поперечником объектива в 24 дюйма.

Но еще раньше, в 1885 году, Альван Кларк побил свои прежние рекорды. В 1878 году Пулковская обсерватория обратилась к фирме Кларка с заказом на изготовление 30-дюймового, самого крупного в мире рефрактора. На создание этого инструмента русское правительство ассигновало 300 000 рублей. Заказ был выполнен за полтора года, причем объектив изготовил сам Альван Кларк из стекол парижской фирмы Фейль, а механическая часть телескопа была сделана немецкой фирмой Регсольд.

Новый Пулковский рефрактор оказался превосходным инструментом, одним из лучших рефракторов мира. Но уже в 1888 году на горе Гамильтон в Калифорнии начала свою работу Ликская обсерватория, оснащенная 36-дюймовым рефрактором Альвана Кларка (рис. 19). Отличные атмосферные условия сочетались здесь с превосходными качествами инструмента.

К концу прошлого века в «чемпионат» телескопов включились американские миллионеры. Им показалось соблазнительным увековечить свое имя пожертвованием средств на строительство крупной обсерватории. Начало этой «благотворительной» деятельности положил Джеймс Лик, во время «золотой лихорадки» в Америке сколотивший себе огромное состояние. Он пожертвовал 700 000 долларов на строительство новой обсерватории при условии, что она будет носить его имя, а ее главный телескоп будет крупнейшим в мире. Условия эти были выполнены, а самого Лика по его завещанию похоронили в помещении построенной на его средства обсерватории.

Пример Лика нашел подражателей. Чикагский трамвайный магнат Чарльз Йеркс пожертвовал Чикагскому университету более миллиона долларов на создание телескопа, который по размерам и качествам превзошел бы Ликский рефрактор. Это невероятно сложное задание выполнила все та же фирма

«Альван Кларк и сыновья», увы, без участия своего основателя — знаменитый оптик умер в 1887 году.

Исполнинский объектив поперечником в 40 дюймов (точнее, 107 см) уже к 1893 году вчерне был готов.



Рис. 19. 36-дюймовый Ликский рефрактор.

В 1897 году недалеко от Чикаго начала свою деятельность Йеркская обсерватория, обладательница величайшего в мире рефрактора. Любопытно, что мастера фирмы Кларк тонкую шлифовку выполняли вручную, подгоняя отдельные части объектива под нужную

форму. Эта мучительная работа, требующая огромного терпения и мастерства, заняла пять лет. Зато был достигнут рекорд, не превзойденный до сих пор. Вот уже более 80 лет не предпринимают даже попытки «побить» рекорды Альвана Кларка и его фирмы. Возможно, что здесь уже достигнут разумный предел. Объективы с поперечником более 40 дюймов должны быть слишком толстыми и потому поглощающими много света. Кроме того, под влиянием огромного собственного веса они прогибаются и по этой причине портятся создаваемые ими изображения.

Нет смысла побивать рекорды Альвана Кларка и по другим причинам. Длиннофокусные рефракторы типа Йеркского или Ликского обладают очень большим вторичным спектром и фотосъемка с их помощью дает расплывчатые изображения. Неудобны они и для спектральных и для астрометрических наблюдений — с меньшими инструментами получаются лучшие результаты. Видимо, рефракторы достигли «потолка» и будущее не за ними.

И все-таки в истории астрономии рефракторы Альвана Кларка, лучшие из существующих, сыграли огромную роль. Они обогатили и планетную и звездную астрономию открытиями первостепенного значения. Успешная работа на этих инструментах продолжается и поныне.

В игру вступают рефлекторы

Идея создания зеркального телескопа, или рефлектора была высказана при жизни Галилея Н. Цукки (1616 г.) и М. Мерсенном (1638 г.). Однако они, как позже Д. Грегори (1663 г.) и Г. Кассегрен (1672 г.) предложили лишь теоретические схемы инструментов, а сами инструменты построены не были. В 1664 году Роберт Гук изготовил рефлектор по схеме Грегори, но качество его оказалось настолько низким, что наблюдать что-либо в него не удалось.

Лишь Исаак Ньютон в 1668 году, наконец, построил первый действующий рефлектор. Этот крошечный телескоп по размерам уступал даже галилеевским трубам. Главное вогнутое сферическое зеркало из по-

лированной зеркальной бронзы имело в поперечнике всего 2,5 см, а его фокусное расстояние составляло 6,5 см. Лучи от главного зеркала (рис. 20, а) отражались небольшим плоским зеркалом в боковой окуляр, представлявший собою плоско-выпуклую линзу. Первоначально рефлектор Ньютона увеличивал в 41 раз, но поменяв окуляр и снизив увеличение до 25 раз, Ньютон нашел, что небесные светила при этом выглядят ярче и наблюдать их удобнее.

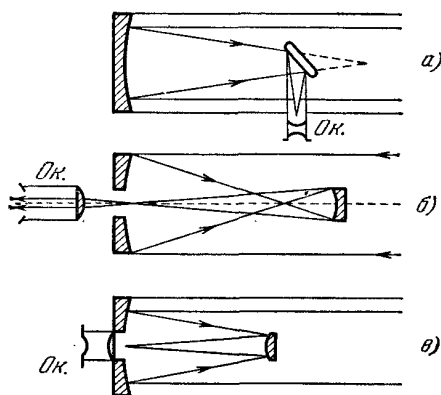


Рис. 20. Ход лучей в рефлекторах системы Ньютона (а), Грегори (б) и Кассегрена (в).

В 1671 году Ньютон соорудил второй рефлектор, чуть побольше первого (диаметр его главного зеркала был равен 3,4 см при фокусном расстоянии 16 см). Система Ньютона получилась весьма удобной и она успешно применяется до сих пор. Заметим, что вместо плоского зеркала в некоторых телескопах используются призмы полного внутреннего отражения.

Рефлектор по системе Грегори (рис. 20, б) имеет несколько иное устройство. Лучи от главного зеркала падают на небольшое вогнутое эллипсоидальное зеркало, отражающее их в окуляр, который врезан в центральное отверстие главного зеркала. Эта система имеет некоторые преимущества перед системой Ньютона. Так как эллипсоидное зеркало находится дальше

главного фокуса телескопа, изображения в рефлекторе Грегори *прямые* (как в театральном бинокле). При рассматривании земных предметов это удобно, а при наблюдении небесных тел безразлично. Так как эллипсоидное зеркало как бы удлиняет фокусное расстояние телескопа, в рефлекторах Грегори при прочих равных условиях можно применять большие увеличения, чем в рефлекторах Ньютона. Кроме того, наблюдатель смотрит на небесный объект прямо, что при наведении на светило представляет некоторое удобство.

Если вогнутое эллипсоидальное зеркало заменить выпуклым гиперболическим, получаем систему Кассегрена (рис. 20, в). Так как гиперболическое зеркало встречает лучи, отраженные главным зеркалом *до* фокуса, кассегреновские рефлекторы короткие, компактные, что удобно для некоторых астрофизических наблюдений.

Позже были предложены и другие оптические системы рефлекторов, но наиболее популярными оказались три описанные системы. Любопытно, что в современных крупных рефлекторах есть устройства, позволяющие от ньютоновской комбинации переходить к кассегреновской и обратно.

Первые рефлекторы Ньютона были настолько примитивными, что явно не выдерживали конкуренции даже с «воздушными» рефракторами. Однако вскоре выявились некоторые неоспоримые достоинства рефлекторов, которые в конечном счете позволили им одержать решительную и окончательную победу в чемпионате телескопов.

Главное преимущество рефлекторов — отсутствие у зеркал хроматической аберрации. Если же главному зеркалу придать форму параболоида вращения, то можно теоретически свести к нулю и сферическую аберрацию (во всяком случае для лучей, падающих на главное зеркало параллельно его оптической оси). Изготовление зеркал — дело более легкое, чем шлифовка огромных линзовых объективов, и это также предрешило успех рефлекторов. Из-за отсутствия хроматической аберрации рефлекторы можно делать очень светосильными (до 1:3), что совершенно невозможно для рефракторов. При изготовлении рефлекто-

ры обходятся гораздо дешевле, чем равные им по диаметру рефракторы.

Есть, конечно, недостатки и у зеркальных телескопов. Их трубы открыты и токи воздуха внутри трубы создают неоднородности, портящие изображения. Отражающие поверхности зеркал сравнительно быстро тускнеют и нуждаются в восстановлении. Для отличных изображений требуется почти идеальная форма зеркал, что трудно исполнить, так как в процессе работы форма зеркала слегка меняется от механических нагрузок и колебаний температуры. И все-таки рефлекторы оказались наиболее перспективным типом телескопов.

Уже в 1721 году Джон Гадлей построил ньютоновский рефлектор с диаметром бронзового зеркала 15 см при фокусном расстоянии 158 см. В него легко наблюдались не только спутники Юпитера, но и такие объекты, как щель Кассини в кольце Сатурна, которую с трудом различал Гюйгенс в свой 37-метровый «воздушный» рефрактор.

В 1732—1768 гг. сначала в Эдинбурге, а затем в Лондоне Джемс Шорт организовал фабричный выпуск высококачественных рефлекторов. Большинство из них было построено по системе Грегори, причем самый большой имел поперечник главного зеркала, равный 55 см. Даже спустя 200 лет при проверке шортовских рефлекторов советские ученые могли еще раз убедиться в их очень высоких качествах.

На Петербургской академической обсерватории употреблялись для наблюдения небольшие рефлекторы системы Грегори. Большого успеха в изготовлении рефлекторов достиг Яков Брюс — крупнейшее из зеркал, им изготовленных, имело поперечник полметра. Строил рефлекторы и знаменитый русский изобретатель И. П. Кулибин.

М. В. Ломоносов применил в рефлекторах новую систему, получившую позже его имя. Главное зеркало он слегка наклонял так, что фокальное изображение получалось вблизи входного отверстия телескопа. Здесь Ломоносов укреплял окуляр, в который и вел наблюдения. Система Ломоносова имела то преимущество, что в ней не требовались промежуточные зеркала или призмы, в которых терялась часть света. Но,

с другой стороны, давали себя знать различные аберрации (кома, астигматизм, дисторсия), менее заметные в других системах рефлекторов. Тем не менее система Ломоносова использовалась впоследствии и другими астрономами при наблюдениях в очень крупные рефлекторы. Среди них был и основоположник звездной астрономии Вильям Гершель.

Вильям Гершель и его последователи

Гершели были выходцами из Моравии. В XVII веке, вероятно, по религиозным убеждениям, семейство Гершелей покинуло родину и переселилось в Саксонию, где в 1738 году у полкового музыканта Исаака Гершеля родился сын Вильям. Это был четвертый сын в многодетной семье, которому предстояло стать одним из величайших астрономов мира.

Уже в детские и юношеские годы Вильям Гершель проявил любовь к точным наукам. Однако долгое время ему приходилось идти по стопам своего отца, что, впрочем, он делал с большим успехом. Вильям Гершель прекрасно играл на гобое, скрипке и уже в 17-летнем возрасте вместе с отцом ездил в Англию на гастроли. Два года спустя он окончательно переехал из Ганновера в Англию, которая и стала его второй родиной. Здесь в городе Бате Вильям Гершель стал органистом местной капеллы и учителем музыки. Хотя обе должности приносили немалый доход, Гершель все же не считал занятия музыкой своим основным призванием. Все свободное время он уделял чтению книг по астрономии, оптике, математике. В конце концов у него возникло сильнейшее желание самому увидеть те небесные объекты, о которых он читал в книгах.

В 1773 году в руки Гершеля на короткое время попал небольшой телескоп. Качество этого инструмента было невысокое и первый опыт астрономических наблюдений побудил Гершеля самому заняться изготовлением рефлекторов. Здесь проявились замечательные качества великого астронома — необыкновенное трудолюбие, соединенное с высоким мастер-

ством. За два последующих десятилетия Гершель собственноручно изготовил 430 параболических зеркал! Заметим, что первые 15 лет он шлифовал зеркала вручную и лишь после этого изобрел специальные машины для шлифовки и полирования.

Шлифовать металлические зеркала очень трудно. Это нудная работа, которую нельзя прерывать ни на минуту и которая длится иногда подряд около шестнадцати часов. В такие тяжелые дни сестра Вильяма Каролина Гершель кормила своего брата — шлифовальщика из собственных рук. Женщина эта оставила заметный след в истории астрономии. Кроме постоянной помощи брату в наблюдениях и вычислениях, Каролина Гершель за свою долгую 98-летнюю жизнь самостоятельно открыла несколько комет.

Первый рефлектор Гершель построил по системе Грегори. Его зеркало имело диаметр 16 см и фокусное расстояние около двух метров. Первое наблюдение с этим инструментом (туманности Ориона) в дневнике Гершеля помечено 4 марта 1774 года. Среди последующих многочисленных телескопов Гершеля особо следует отметить 20-футовые и 40-футовые*) рефлекторы.

Первый из этих инструментов обладал зеркалом с поперечником в 47 см и был в ту пору крупнейшим телескопом мира. Его штативом служила громоздкая и примитивная установка из лестниц, канатов и блоков. Нижняя рама этой установки имела ролики, катившиеся по кольцевому желобу. Таким образом 20-футовый рефлектор Гершеля мог перемещаться и по высоте и по азимуту.

Свои главные астрономические открытия Гершель сделал именно с этим телескопом. За долгие годы наблюдений он открыл около 2500 туманностей, 806 двойных звезд, совершил четыре полных обзора доступной ему части звездного неба. Его подсчет количества звезд в разных направлениях (знаменитый «метод черпков») позволил впервые, разумеется, в самых общих чертах, представить себе строение нашей звездной системы — Галактики. Гершель не щадил себя —

*) Здесь указана длина телескопов. Английский фут равен 30,5 см.

иногда за ночь он успевал внимательно пронаблюдать до 400 различных небесных объектов!

13 марта 1781 года, наблюдая окрестности звезды Эта Блинецов, Гершель неожиданно заметил странное тело с заметным диском. Это была новая, неизвестная дотоле крупная планета Солнечной системы, обращающаяся вокруг Солнца далеко за орбитой Сатурна. Поначалу Гершель в честь английского короля Георга назвал новую планету Георгией. Но традиция в конце концов восторжествовала и новая планета окончательно получила наименование Уран (по имени мифического бога неба).

Это первое крупное открытие Гершеля сразу принесло ему всемирную известность. Из скромного музыканта, любителя астрономии, Гершель стал Королевским астрономом Англии — должность, тотчас предоставленная ему королем. Гершель вместе с сестрой переехал в Слоу (близ Виндзора) и ему правительством были отпущены средства на строительство исполнинского по тем временам 40-футового рефлектора.

В 1789 году новый телескоп был готов. Еще до того как телескоп укрепили в рабочем положении, его тубус, лежащий на Земле, осмотрели король, архиепископ Кентерберийский и прочая английская знать. Размеры и качества инструмента вызвали всеобщее восхищение. Король сам залез внутрь трубы и пригласил последовать за собою главу английской церкви, шутливо сказав при этом, что он «покажет ему путь на небо».

Крупнейший из гершелевских телескопов и впрямь даже на рисунке (рис. 21) производит внушительное впечатление. Его установка почти копировала ту, которую Гершель использовал для 20-футового рефлектора. Наблюдения с ним велись по системе Ломоносова — малого отражающего плоского зеркала не было, а окуляр укреплялся около входного отверстия трубы. Иногда Гершель обходился и вовсе без окуляра — его роль выполнял хрусталик глаза наблюдателя.

И все-таки свой крупнейший телескоп Гершель редко использовал для наблюдений. Гигантский тяжелый инструмент с его системой блоков и канатов

был очень неуклюж, а огромное металлическое зеркало прогибалось под действием собственного веса, из-за чего сильно портились изображения. Это зеркало диаметром 122 см при толщине 9 см весило немногим менее тонны. Оно представляло собою сплав из 75% меди и 25% олова. Зеркала такого типа быстро тускнели, давали трещины и требовали частой

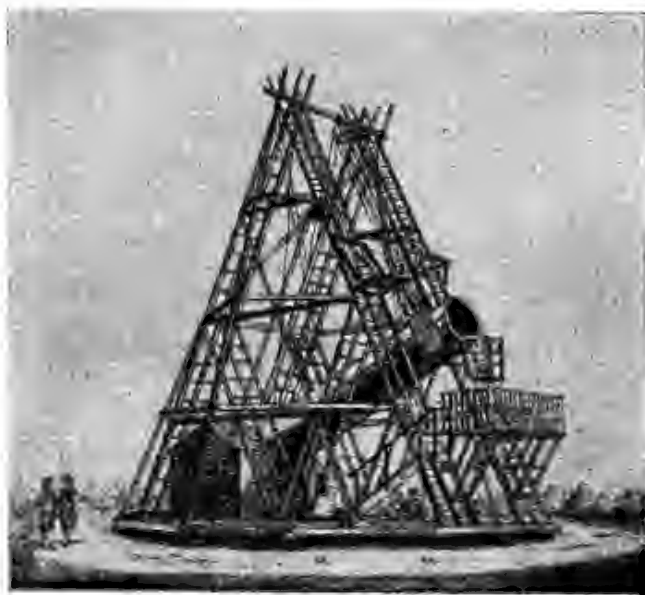


Рис. 21. 40-футовый телескоп Гершеля.

переполитровки. И такими несовершенными инструментами Гершель сумел сделать великие открытия!

К тому, что уже говорилось выше, добавим, что Вильям Гершель первым обнаружил движение Солнечной системы в пространстве; он открыл ряд спутников других планет; им впервые замечены активные вулканические процессы на Луне. Вообще трудно назвать ту отрасль астрономии, в которую не внес бы крупный вклад этот неутомимый труженик науки.

Вильям Гершель скончался в 1822 году на 84-м году своей жизни. Он похоронен в Слоу, недалеко от крупнейшего своего детища. Его единственному сыну Джону предстояло выполнить для южного полушария неба такую же работу, которую его отец совершил в Англии.

В отличие от Вильяма Гершеля, Джон Гершель уже сразу получил специальное физико-математическое образование в Кембриджском университете. Позже вместе с отцом он успешно проводил астрономические наблюдения, открыв при этом ряд новых двойных звезд и туманностей.

В 1833 году Джон Гершель вместе с семьей переехал в Южную Африку. С ним на 15 судах были доставлены в Капштадт 20-футовый рефлектор и другие инструменты. У подножия Столовой горы, недалеко от Капштадта, Джон Гершель построил обсерваторию. Здесь в течение четырех лет он подробно исследовал южное звездное небо, открыв множество неизвестных двойных звезд, звездных скоплений и туманностей. Тут же был снова применен «метод черпков», что позволило уточнить структуру Галактики.

После возвращения в Англию в 1838 году Джон Гершель привел в систему результаты наблюдений как своих, так и своего отца. В конце 1839 года по распоряжению Джона Гершеля труба исполинского 40-футового телескопа была положена на землю, а год спустя семейство Гершелей устроило внутри этой трубы некую церемонию. Здесь был пропет реквием в память Вильяма Гершеля, сочиненный его сыном, а затем трубу заколотили и, как сказано в реквиеме, она была «отдана в жертву всесокрушающему времени». Зеркало же телескопа до сих пор хранится в доме Гершелей, в Слоу.

Пример Вильяма Гершеля нашел себе последователей. В 1845 году английский пивовар Вильям Лассель после долгих трудов собственноручно построил отличный по качеству рефлектор с поперечником зеркала 61 см. Этот инструмент Лассель установил в своем имении Старфильд, вблизи Ливерпуля, и уже 10 октября 1846 года с его помощью был открыт Тритон — спутник недавно открытого Нептуна. Позже в

1851 году Лассель открыл два спутника Урана — Ариэль и Умбриэль.

В 1861 году ему удалось построить вдвое больший рефлектор с поперечником зеркала в 122 см — таким же, как у 40-футового телескопа В. Гершеля. Оба свои телескопа Лассель перевез на остров Мальту, где и погода была устойчивее и часть южного полушария звездного неба, недоступная в Англии, была здесь легко наблюдаемой.

Самый крупный рефлектор с металлическим зеркалом был сооружен ирландским аристократом Вильямом Парсонсом, носившим титул лорда Росса. Окончив Кембриджский университет и не нуждаясь в средствах, лорд Росс почти полностью отдался научным занятиям. Располагая громадным богатством, он решил соорудить крупнейший в мире телескоп, превзойдя в этом Вильяма Гершеля. После неудачных опытов с жидкими линзами Росс всю свою энергию обратил на создание исполинского рефлектора. К великому сожалению, Джемс Шорт, великий умелец в изготовлении высококачественных рефлекторов, перед смертью уничтожил все секреты своей фирмы и потому Росс должен был до всего доходить сам. Не было у него и деятельных, знающих помощников. Но все эти трудности не сломили его упорство.

В своем поместье Росс построил оптико-механические мастерские, своих крестьян он обучил оптике и механике, превратив их тем самым в опытных механиков и инженеров. Все вспомогательное оборудование находилось на высшем уровне тогдашней техники. Шлифовальные механизмы обслуживали паровые машины; всюду, где можно было механизировать ручной труд, Росс это сделал. Короче говоря, ирландский лорд всерьез превратился в знающего руководителя большого оптико-механического предприятия.

Трудно представить себе более тяжелый для обработки материал, чем сплав из четырех частей меди и одной части олова, на котором в конце концов остановился Росс. Этот материал был тверже стали, но хрупок как стекло, так что при малейшей неловкости в обращении с ним он дробился на множество мелких осколков. Но зато после полировки он отражал го-

раздо больше света, чем любые другие известные в те времена металлические сплавы.

Исполненное зеркало в 2 м диаметром и 15 см толщиной с фокусным расстоянием 14 м было отлито весной 1842 года. Три года ушло на его обработку и наконец в феврале 1845 года «левинафан» лорда Росса стал пригодным для созерцания Вселенной.

Установка телескопа вполне отвечала его размерам. Чтобы огромное зеркало не изгибалось под действием собственного веса, Росс придумал сложную

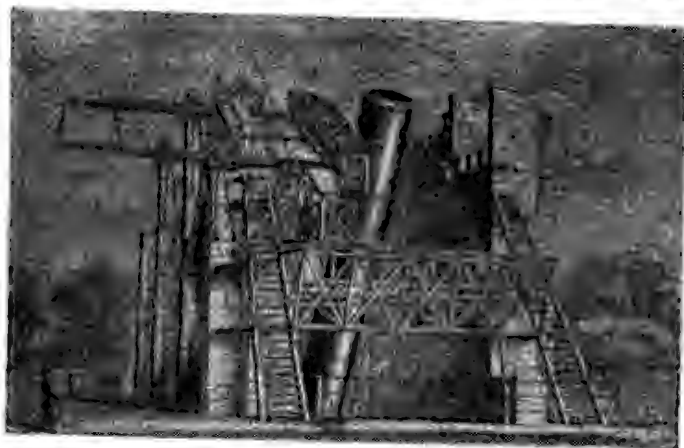


Рис. 22. Телескоп лорда Росса.

систему платформ, подпорок и рычагов, обеспечивающих стабильность формы зеркала. Труба рефлектора длиной 18 м была сделана из еловых досок, скрепленных железными обручами. Внутри этой трубы свободно мог пройти человек с зонтиком (что, кстати сказать, и сделал местный пастор).

С двух сторон телескоп прикрывали огромные каменные стены, служившие и защитой от ветра и опорой для инструмента (рис. 22). Нижний конец, весивший 15 т, опирался на универсальный чугунный шарнир. Верхний же конец трубы фиксировался с помощью крепких цепей. Двое рабочих, вращая ворот, опускали или, наоборот, поднимали трубу по указа-

нию Росса. К сожалению, по азимуту она могла сдвигаться в обе стороны не более чем на 12 градусов. Так как Росс для своего «левиафана» использовал систему Ньютона, площадка наблюдателя находилась сбоку от инструмента. Впрочем, иногда Росс наблюдал и по системе Ломоносова.

Открытия, сделанные Россом, трудно переоценить. Он увидел много новых двойных звезд, звездных скоплений и туманностей. Некоторые из последних, казавшиеся Гершелю облачками белого тумана, распались при наблюдениях в телескоп Росса на отдельные звезды. Россу удалось разложить на звезды даже края туманности Андромеды, чем было положено начало детальному изучению других звездных систем. Росс был первым, кто открыл спиральное строение некоторых из внегалактических туманностей.

После смерти Росса зеркало его телескопа быстро потускнело и пришло в негодность. Однако вплоть до первой четверти текущего века никому не удавалось создать телескоп более крупный, чем тот, с которым работал лорд Росс — пожалуй, величайший из любителей астрономии.

Крупнейшие рефлекторы XX века

Во второй половине прошлого века постепенно приобрели популярность рефлекторы со стеклянными зеркалами. Это объясняется тем, что французский физик Фуко и независимо от него немецкий физик Штейнгейль к тому времени изобрели удачные способы серебрения зеркал. На поверхность отшлифованного стеклянного блока наносился так называемый фильм — тонкая серебряная пленка, полученная воздействием виноградного сахара на соли азотнокислого серебра. Посеребренное зеркало рефлектора отражало свет вдвое лучше, чем старые металлические зеркала, и задача состояла в том, чтобы научиться отливать и достаточно точно полировать крупные стеклянные блоки.

Вплоть до 1914 года поставщиком таких блоков была французская фирма Сен-Гобен. Уже в 1878 году в Париже установили рефлектор со стеклянным зер-

калом, посеребренным по методу Фуко. Диаметр этого зеркала (122 см) был таким же, как у крупнейшего из гершелевских телескопов. Десять лет спустя, в 1888 году, в Англии был построен (но почти не работал) 153-сантиметровый «стеклянный» рефлектор, созданный Коммоном. Такого же размера рефлектор работы Ричи в 1908 г. был установлен в Калифорнии на горе Вильсон и в течение 9 лет этот великолепный по качеству 60-дюймовый рефлектор оставался крупнейшим из действующих телескопов.

Решительная победа «стеклянных» рефлекторов над «металлическими» была обусловлена еще и тем, что Фуко изобрел оригинальный метод проверки качества зеркала («метод теней»), сразу резко повысивший качество их изготовления. К тому же, отражая 90—95% падающего на зеркало света, «стеклянные» рефлекторы при одном и том же диаметре были гораздо светосильнее «металлических». Позже, в 1930 году, изобрели способ алюминировать стеклянные зеркала. Преимущество этого способа заключается в том, что алюминиевые filmy сохраняются очень долго и, кроме того, они хорошо отражают ультрафиолетовые лучи, на что серебряная пленка неспособна.

В 1917 году на обсерватории Маунт Вилсон установили новый 100-дюймовый рефлектор работы Ричи. На протяжении последующих 33 лет этот телескоп прочно держал первенство и его облик запечатлен на множестве фотографий и рисунков (рис. 23). При диаметре 258 см зеркало 100-дюймового рефлектора весит 5 тонн, а общий вес подвижных частей установки превосходит 100 тонн. И при этом сама установка и «прозрачная» решетчатая труба телескопа не производят впечатление чего-то громоздкого и неуклюжего, похожего на телескопы Гершеля и Росса. Вся современная, в особенности звездная астрономия была в значительной мере создана благодаря наблюдениям на 100-дюймовом рефлекторе. Вторым по величине рефлектором мира на протяжении ряда лет был 205-сантиметровый рефлектор обсерватории Мак-Дональд (Канада), начавший свою работу в 1939 году. До второй мировой войны крупнейшие зарубежные обсерватории создавались за счет пожертвований

частных лиц. Мы уже говорили о богачах Лике и Йерксе, чьи имена носят знаменитые американские обсерватории. Канадская обсерватория Мак-Дональд

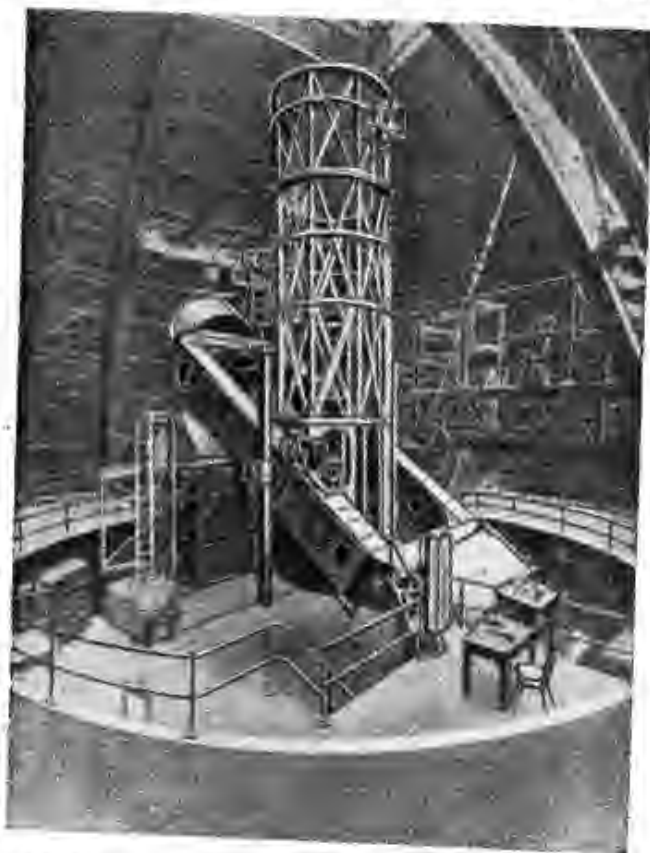


Рис. 23. 100-дюймовый рефлексор обсерватории Маунт Вилсон.

была построена на средства, заимствованные из фонда Рокфеллера. Делец из Лос-Анджелеса некий Гукер оплатил создание 100-дюймового рефлексора Маунт Вилсоновской обсерватории. Лишь после второй мировой войны американское правительство сочло

наконец возможным частично оплатить расходы на завершение строительства 200-дюймового рефлектора обсерватории Маунт Паломар (Калифорния). Впрочем, и на этот раз шесть с половиной миллионов долларов выделил фонд Рокфеллера.

Еще в 30-х годах текущего века советские ученые И. В. Гребенщиков и Н. Г. Пономарев предложили применять в исполинских рефлекторах зеркала с ребристой структурой на тыльной стороне. Это существенно уменьшало вес зеркала при полном сохранении его «жесткости». Идея была вполне актуальной, так как вес сплошного зеркала 100-дюймового рефлектора давал себя чувствовать и в утяжелении конструкции телескопа и в очень небольших, но нежелательных изгибах зеркала под действиями собственного веса.

Американские оптики, изготовившие с огромным трудом зеркало 200-дюймового рефлектора, использовали идею советских ученых. Зеркало с тыльной части имеет ребристую структуру. При диаметре 5 м оно имеет фокусное расстояние 16,5 м (относительное отверстие 1:3,3). Зеркала рефлектора для облегчения веса имеют ячеистую структуру и изготовлены из особого сорта стекла — пирекса — с ничтожным коэффициентом теплового расширения. И все-таки несмотря на все ухищрения вес главного зеркала составляет 13 тонн!

Чтобы обеспечить достаточную жесткость такого зеркала, в 5-метровом рефлекторе используется сложная система разгрузочных механизмов, мешающих зеркалу прогибаться.

По конструкции трубы 200-дюймовый рефлектор внешне несколько напоминает своего предшественника — тубус сделан решетчатым, но элементы конструкции здесь, естественно, более массивны и прочны, чем на обсерватории Маунт Вилсон. Труба 200-дюймового телескопа принадлежит к так называемым трубам компенсационного типа*). В нерабочем состоянии зеркало телескопа предохраняется специальной крышкой, надежно защищающей его от случайного падения даже весьма тяжелых предметов.

*) Подробнее см. сборник «Телескопы», ИЛ, 1963.

Пятиметровый рефлектор — первый телескоп, в котором кабина наблюдателя укреплена *внутри* трубы (рис. 24). Она имеет диаметр 1,8 м и, конечно, частично заслоняет зеркало, как бы несколько уменьшая

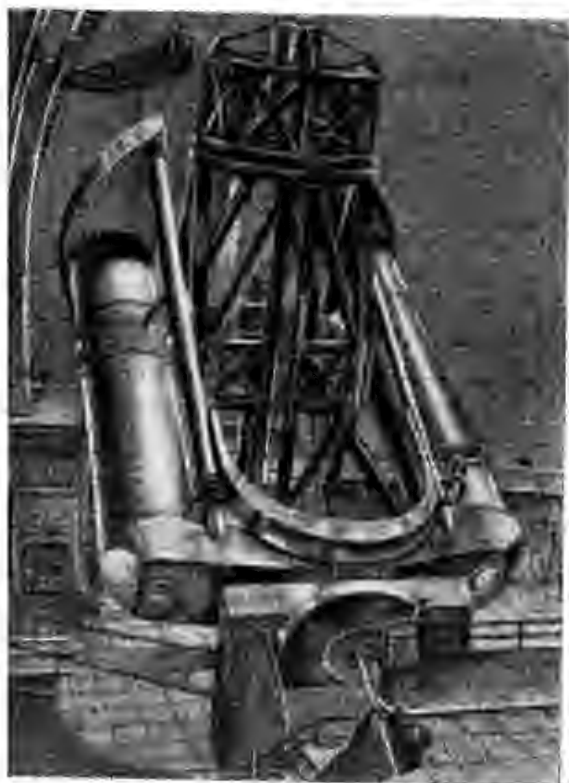


Рис. 24. 200-дюймовый рефлектор обсерватории Маунт Паломар.

его светосилу, но на качестве изображений это существенно не сказывается. До кабины астроном добирается в специальном лифте, а внутри кабины во время наблюдения он находится в сидячем положении.

Уже первые испытания пятиметрового гиганта показали, что ему доступны объекты в четыре раза

более слабые, чем те, которые наблюдались на обсерватории Маунт Вилсон. За четверть века работы 5-метровый рефлектор открыл перед человечеством такие звездные дали, от которых до нас лучи света доходят за миллиарды лет!

И зеркала, и линзы

Стремление свести к минимуму всевозможные аберрации рефракторов и рефлекторов привело к созданию комбинированных зеркально-линзовых телескопов. В этих оптических инструментах функции зеркал

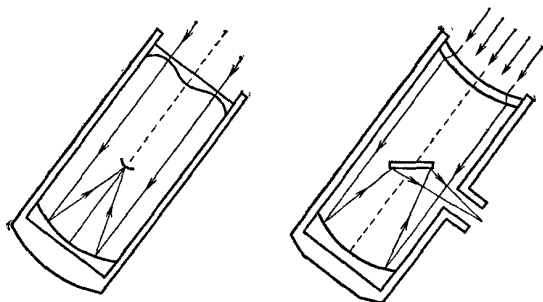


Рис. 25. Зеркально-линзовые системы Шмидта (слева) и Максутова.

и линз разделены таким образом, что зеркала формируют изображение, а линзы исправляют аберрации зеркал. Первый телескоп такого типа был создан в 1930 году немецким оптиком Б. Шмидтом.

В телескопе Шмидта главное зеркало имеет *сферическую* отражающую поверхность, а значит, тем самым отпадают трудности, связанные с параболизацией зеркал. Естественно, что сферическое зеркало большого диаметра обладает весьма заметными аберрациями, в первую очередь сферической. Для того чтобы максимально уменьшить эти аберрации, Шмидт поместил в центре кривизны главного зеркала тонкую стеклянную коррекционную линзу (рис. 25, слева). На глаз она кажется обыкновенным плоским

стеклом, но на самом деле поверхность ее очень сложна (хотя отклонение от плоскости не превышает нескольких сотых долей миллиметра). Она, эта поверхность, рассчитана так, чтобы исправить сферическую aberrацию, кому и астигматизм главного зеркала. Происходит при этом как бы взаимная компенсация aberrаций зеркала и линзы. Хотя в системе Шмидта остаются неисправленными второстепенные aberrации (например, дисторсия), телескопы этого типа заслуженно считаются лучшими инструментами для фотографирования небесных тел. Впрочем, при съемке неба перед фотопластинкой помещают специальную плоско-выпуклую линзу Пиацци — Смита, которая исправляет так называемую кривизну поля — искажения, выражающиеся в искривлении фокальной поверхности.

В отличие от рефлекторов, тубус камеры Шмидта наглухо закрыт коррекционной пластинкой и это исключает возникновение токов воздуха в трубе, которые портят изображение. Одно из главных достоинств телескопов Шмидта — огромное поле зрения и светосила. У большинства таких инструментов диаметр поля зрения доходит до 25° , а в некоторых случаях и того больше. Относительное отверстие в камерах Шмидта может быть доведено до $1 : 0,5!$

Кстати сказать, для обеспечения большого поля зрения сферическое зеркало в системе Шмидта имеет больший диаметр, чем коррекционная линза. В некоторых вариантах телескопов Шмидта используется система Кассегрена, однако второе зеркало при этом сильно экранирует свет, идущий от небесных тел. Поэтому телескопы системы Шмидта работают главным образом как астрографы, то есть аппараты для фотографирования небесных объектов.

Самый крупный телескоп системы Шмидта с диаметром зеркала 122 см с 1956 года действует на обсерватории Маунт Паломар. Его поле зрения составляет 36 кв. градусов и с помощью этого фотоинструмента недавно выполнили грандиозную работу — составлен фотографический атлас всего наблюдаемого в Калифорнии звездного неба. При выдержке в 10 минут на фотопластинках фиксировались звезды до 20-й звездной величины. В Паломарском Атласе неба

запечатлены сотни миллионов звезд и десятки миллионов галактик. Исследуя этот колоссальный по объему эмпирический материал, известный советский астроном профессор Б. А. Воронцов-Вельяминов открыл множество новых, неизвестных ранее типов галактик и явные следы взаимодействия между ними. Некоторые из галактик оказались соединенными длинными (многие тысячи световых лет!) перемычками, состоящими из звезд. Камера Шмидта представила человечеству совершенно неожиданный, удивительный облик Большой Вселенной.

Есть недостатки и у телескопов системы Шмидта. Так как коррекционная линза укреплена на двойном фокусном расстоянии от зеркала, тубус шмидтовских камер получается сравнительно длинным (у паломарской камеры — 5 метров). Главная же беда в другом — из-за сложной формы коррекционной пластинки изготовление ее сопряжено с огромными трудностями. Поэтому создание крупных камер Шмидта — редкое событие в астрономической технике.

В 1941 году известный советский оптик член-корреспондент Академии наук СССР Д. Д. Максутов изобрел новый тип зеркально-линзового телескопа, свободного от главного недостатка камер Шмидта. В системе Максутова (рис. 25, справа), как и в системе Шмидта главное зеркало имеет сферическую вогнутую поверхность. Однако вместо сложной коррекционной линзы Максутов использовал сферический мениск — слабую рассеивающую выпукло-вогнутую линзу, сферическая абберрация которой полностью компенсирует сферическую абберрацию главного зеркала. А так как мениск слабо изогнут и мало отличается от плоскопараллельной пластинки, хроматическую абберрацию он практически не создает.

Заметьте, в системе Максутова все поверхности зеркала и мениска *сферические*, что сильно облегчает их изготовление. Центральная часть мениска посеребрена и используется как второе отражательное зеркало в системе Кассегрена. Из-за этого максутовские телескопы получаются сравнительно короткими, компактными, удобными в обращении. В инструментах такого типа можно использовать и ньютоновскую систему и систему Грегори.

В 1950 году менисковый телескоп с диаметром входного отверстия 0,5 м был установлен на Алма-Атинской обсерватории и с его помощью изучена тонкая структура волокнистых газовых туманностей. Пять лет спустя менисковый телескоп диаметром 0,7 м начал работать в Грузии на Абастуманской обсерватории. Этот телескоп может работать по двум системам — ньютоновской и кассегреновской, причем переход от одной системы к другой осуществляется сменой дополнительных зеркал. Кстати сказать, такая «многосистемность» применяется в большинстве современных крупных рефлекторов. Абастуманский рефлектор системы Максудова до сих пор остается крупнейшим в мире инструментом этого типа.

Упорная борьба с аберрациями привела в конце концов к созданию очень сложных зеркально-линзовых систем. Так, например, в камерах «Супершмидт», созданных Ф. Уипплом, кроме главного сферического зеркала используются два мениска, обращенных вогнутостями друг к другу и ахроматизирующая коррекционная линза между ними. В систему, разработанную Г. Г. Слюсаревым, входят сферическое зеркало, кассегреновское зеркало и ахроматическая линза, которые дают параллельный пучок в отверстие главного зеркала. Имеется в ней и дополнительная система линз с призмой прямого зрения. Крупнейший 13-дюймовый телескоп этой сложной системы работает в Пулковской обсерватории. Можно быть уверенным, что совершенствование зеркально-линзовых систем на этом не прекратится.

Заметим в заключение, что в последнее время большую популярность приобрели зеркальные телескопы системы Ричи — Кретьена. По существу, эта система представляет собой улучшенный вариант кассегреновской. Главное зеркало — вогнутое гиперболическое, вспомогательное зеркало также гиперболическое выпуклое. Окулярная часть укрепляется в центральном отверстии главного зеркала.

В системе Ричи — Кретьена исправлена сферическая и некоторые другие аберрации. Она удобна в конструктивном отношении, так как при большом фокусном расстоянии труба телескопа получается короткой. С помощью системы Ричи — Кретьена удобно

получать крупномасштабные снимки небесных объектов, причем поле зрения у этой системы порядка четырех градусов.

Телескопы системы Ричи — Кретьена поперечником 4 м в последние годы установлены в США, Чили, ФРГ, Канаде, Австралии и других странах. В современной астрономической практике они считаются одними из лучших.

Механика телескопов

Как бы ни был совершенен телескоп сам по себе, без штатива или установки работать с ним невозможно. Даже подзорную трубу стараются на что-нибудь опереть — дрожание рук сильно мешает наблюдениям.

Первые телескопы имели *азимутальные* штативы, которые позволяли поворачиваться трубе телескопа вокруг двух взаимно перпендикулярных осей — горизонтальной и вертикальной. Такими азимутальными установками пользовались и Гевелий, и Гершель и даже Росс, причем, как, вероятно, помнит читатель, подвижность по азимуту россовского левиафана была весьма ограниченной. Простота азимутальной установки, к сожалению, сочетается и с ее главным недостатком: так как у небесных светил, обладающих кажущимся суточным движением, непрерывно меняются и азимут и высота над горизонтом, телескоп на азимутальной установке все время приходится поворачивать вокруг двух ее осей, что для больших инструментов до последнего времени считалось очень неудобным.

Если вертикальную ось азимутальной установки сделать параллельной земной оси, то есть, иначе говоря, направить ее на Полярную звезду (или, точнее, на полюс мира), азимутальная установка превращается в *параллактическую* (рис. 26). В этом случае во время наблюдений приходится вращать инструмент лишь вокруг одной «полярной» оси — все небесные светила ведь движутся на небе параллельно небесному экватору. Это главное и очень важное преимущество параллактической или экваториальной установки сделало ее очень популярной — даже самые

небольшие телескопы ныне снабжены параллактическим штативом.

Есть несколько разновидностей параллактических установок. В монтажке *немецкого* типа (рис. 26, *а*) на разных концах «оси склонений», перпендикулярной к полярной оси, уравновешены труба телескопа

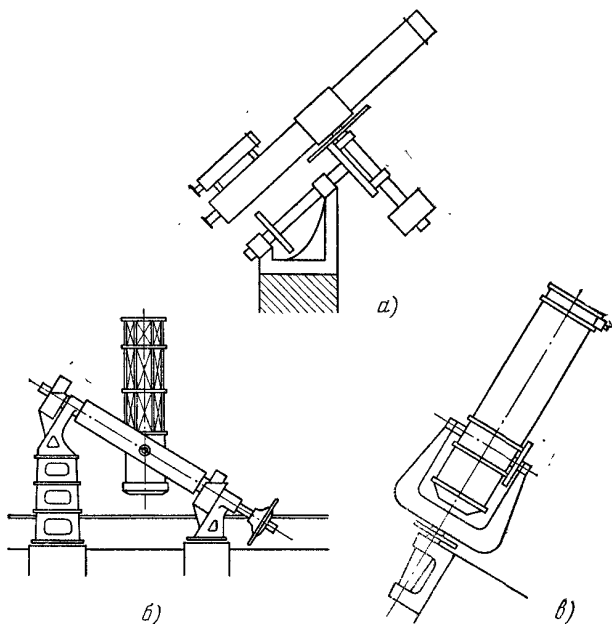


Рис. 26. Типы установок (штативов) телескопов: немецкий (*а*), английский (*б*), американский (*в*).

и противовес. Кстати сказать, все мало-мальски крупные телескопы снабжены искателем или гидом — небольшим рефрактором, укрепленным параллельно главной трубе. Гид играет роль прицела — при небольшом увеличении и значительном поле зрения в него при начале наблюдений легче «поймать» светило.

В немецкой монтажке полярная ось закреплена на двух подшипниках, а наклон ее к плоскости

горизонта в точности равен широте места. Как на полярной оси, так и на оси склонений, закреплены специальные градуированные круги, по которым можно отсчитывать координаты наблюдаемого светила — его склонение и часовой угол. Все крупнейшие рефракторы мира, начиная с 40-дюймового Йеркского, имеют немецкую монтировку.

В монтировке *английского* типа (рис. 26, б) полярная ось телескопа опирается концами на две колонны, что придает ей дополнительную устойчивость. Иногда полярную ось заменяют четырехугольной рамой, внутри которой оказывается и телескоп. В этом варианте противовес не нужен, что облегчает конструкцию. Именно такой установкой обладает 100-дюймовый рефлектор обсерватории Маунт Вилсон.

Если в английской установке убрать северную, более высокую колонну и соответствующий подшипник, получаем «вилочную» *американскую* монтировку (рис. 26, в). С ней можно наблюдать области неба, близкие к Полярной звезде, чего английская «рамочная» монтировка не позволяет. На модернизированной монтировке английского типа укреплен 200-дюймовый рефлектор обсерватории Маунт Паломар.

В современных крупных телескопах часто пользуются так называемой системой куде (от французского слова «coude», что означает «коленчатый»). В этом случае полярная ось телескопа делается полой и в нее с помощью дополнительного зеркала внутри телескопа отражаются лучи, идущие от объектива (линзы или зеркала). Окулярная же часть, укрепленная на нижнем конце полярной оси, при наблюдениях остается неподвижной.

Еще Роберт Гук, знаменитый современник Ньютона, предложил использовать в установках телескопов часовой механизм, который вел бы трубу телескопа вслед за движущимся светилом. Эта идея нашла себе самое широкое применение — ныне лишь небольшие, переносные телескопы не имеют часовых механизмов.

Поначалу часовые механизмы были пружинными или гиревыми, требующими частого завода. Позже, в XX веке начали применять электромоторы со сложной системой регуляторов хода. Точность и плавность

движения современных телескопов должны быть очень высокими.

Заметим, что монтировки крупных телескопов имеют столь внушительные размеры, что астроному приходится при наблюдениях пользоваться лестницами, специальными лифтами и даже подъемным полом.

Пока телескопы были небольшими, для них не устраивали особых помещений — наблюдения велись в окна или с балконов. Так, например, наблюдали первые петербургские астрономы. Специальные астрономические обсерватории (Парижская и Гринвичская), возникшие в XVII веке, как и обсерватория Тихо Браге, внешне напоминали скорее загородные замки, чем научные учреждения. Гигантские рефлекторы Гершеля и Росса фактически находились под открытым небом.

Лишь во второй половине прошлого века появились обсерватории современного типа — круглые здания с вращающимся куполом. В этом куполе имеется люк, прикрытый специальными створками, которые раздвигают во время наблюдений. Этот самый распространенный тип обсерваторий сегодня является почти повсеместным. Лишь для небольших телескопов иногда устраивают павильоны иного типа (например, с отодвигающейся крышей).

Разумеется, вся механическая часть сооружений должна быть надежной — различные моторы и иные устройства обеспечивают плавное, почти бесшумное движение купола и его створок.

Шестиметровый гигант

В ходе Великой Отечественной войны советская астрономия понесла тяжелые утраты. Была разрушена до основания Пулковская обсерватория, частично или полностью выведены из строя обсерватории Украины и Крыма. К счастью, удалось спасти объектив знаменитого пулковского рефрактора, изготовленный Альваном Кларком. Однако до сих пор новый рефрактор для этого объектива не построен и восстановленная после войны Пулковская обсерватория

обходится пока меньшими по размеру оптическими инструментами.

В 1961 году закончился монтаж 102-дюймового рефлектора новой Крымской астрофизической обсерватории. Зеркало этого крупнейшего в ту пору в Европе телескопа имеет диаметр 2,6 м. Замечательно, что этот телескоп весьма высокого качества был полностью изготовлен Ленинградским оптико-механическим объединением под руководством Баграта Константиновича Иоаннисиани, ныне лауреата Ленинской премии, доктора технических наук. В царской России вообще не было собственной оптико-механической промышленности. Крымский 102-дюймовый рефлектор, в ту пору второй в мире по размерам, был первым исполинским рефлектором, созданным в нашей стране. С его помощью исследуются вспыхающие звезды, межзвездная среда, галактики и другие объекты звездного мира.

Еще в 1960 году, учитывая быстрый прогресс зарубежной телескопической техники, было принято решение о строительстве Специальной астрофизической обсерватории, главный рефлектор которой имел бы зеркало диаметром 6 м (236 дюймов!). Главным конструктором этого огромного инструмента был назначен Б. К. Иоаннисиани.

Одновременно с проектированием крупнейшего в мире телескопа начались поиски подходящего места для новой обсерватории. В этом месте, далеко от крупных городов, которые загрязняют и засвечивают атмосферу, должен быть соблюден оптимальный атмосферный режим — прозрачность воздуха, частая ясная погода, спокойствие атмосферы. После 16 экспедиций в Крым, Памир, на Дальний Восток и в другие районы наконец было найдено место, вполне отвечающее поставленной задаче. Им оказалась гора Пастухова высотой 2100 метров, в Карачаево-Черкесской автономной области, недалеко от станции Зеленчукской и в 20 км от Архыза.

Прежде всего здесь была сооружена башня высотой 53 м (то есть с 20-этажный дом!) и диаметром 44 м. При выборе ее формы и материала учитывались скорость и сила ветра, перепады температуры. Когда створки люка вращающегося купола этой

башни раздвигаются, открывается прорезь шириной 11 м. Вес створок люка равен 30 тоннам, а общий вес алюминиевого купола, издалика кажущегося серебряным (рис. 27), достигает 1000 тонн! Так как во избежание вредных конвекционных течений воздуха температура внутри купола не должна отличаться от

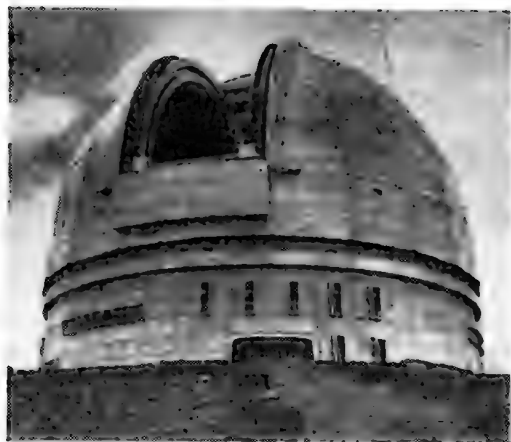


Рис. 27. Башня 6-метрового телескопа Специальной астрофизической обсерватории АН СССР.

внешней температуры, внутри купола действует особое холодильное устройство, перед наблюдением понижающее температуру воздуха внутри башни. Только когда внешняя и внутренняя температуры сравняются, створки люка купола автоматически раскрываются.

Для изготовления зеркала пришлось разработать совершенно новую технологию, позволяющую получить стекло очень высокого качества. Первый палачный отлив получили спустя четыре года после начала работы. Затем изготовили еще несколько отливок, на которых выявлялись оптимальные режимы разогрева и отжига. Наконец окончательная 70-тонная заготовка, отлитая при температуре 1600 градусов, прошла постепенное остывание за 2 года и

4 месяца. Казалось, можно было бы значительно ускорить этот процесс. Однако в этом случае получилось бы не оптическое стекло, а стеклянная глыба с множеством микротрещин. Заметим, что изготовленная заготовка для зеркала была самым крупным стеклянным изделием за всю историю стеклопроизводства.

После этого пришлось снять 28-тонный «припуск» и на это ушло 15 000 карат алмаза. Любопытно, что зал, где велась обработка зеркала, был отделен от остального помещения тройным кольцом стен — требовались постоянство температуры и незапыленность помещения. Люди в белых халатах, работавшие в этом зале, ходили на медиков, занятых сложной операцией. Летом 1974 года полировальная машина была остановлена. Поверхность 42-тонного зеркала приняла нужную параболическую форму с точностью до одной десятой микрона. Специально созданная по новой схеме вакуумная установка нанесла на поверхность зеркала тончайший слой алюминия. Крупнейшему в мире зеркалу предстояло теперь совершить длительное и сложное путешествие из Ленинграда на Кавказ.

В мае — июне 1974 года состоялась генеральная репетиция. На 120-тонном трайлере поместили макет 6-метрового зеркала и со всеми предосторожностями перевезли его от ворот Ленинградского завода на далекий Кавказ. В процессе подготовки к настоящему «действию» были усилены мосты, укреплено дорожное покрытие, обеспечена полная, стопроцентная безопасность движения по всей трассе.

И вот, наконец, путешествие состоялось. В четыре часа ночи под конвоем ГАИ, состоящем из 17 «Волг» и «Москвичей», двинулось в путь «Око» планеты. Сначала по асфальту зеркало было доставлено в Южный порт Москвы, затем по воде в Ростов-на-Дону, а оттуда снова по шоссе к месту назначения. Во избежание неожиданных осложнений скорость движения по шоссе не превышала 8 км/час, а на отдельных участках она снижалась до 3 км/час. Подъем на гору Пастухова занял 6 часов, причем на некоторых крутых поворотах автопоезд длиной 50 м напоминал исполняющую свернувшуюся змею.

Наконец гигантский инструмент был полностью смонтирован (рис. 28). Когда-то Галилей легко переносил свои первые телескопы одной рукой. Общий вес 6-метрового рефлектора вместе с установкой достигает 950 тонн, причем почти 300 тонн приходится на зеркало и решетчатую стальную трубу телескопа. Вся сложная конструкция телескопа включает в себя 25 тысяч наименований отдельных деталей. Когда стоишь рядом с крупнейшим телескопом мира, высота которого достигает 42 м, глаз с трудом охватывает разом весь инструмент. Словом, все параметры этого телескопа поистине «астрономические»!

До сих пор у всех крупных телескопов установки были параллактическими. Шестиметровый гигант и в этом отношении уникален — его установка *азимутальная* (отсюда и официальное обозначение инструмента «БТА», что означает Большой Телескоп Азимутальный). Создатели БТА отошли от привычных традиций. Так, например, чтобы уменьшить нагрузки в осях и подшипниках инструмента, в БТА употребляются специальные подшипники жидкостного трения — труба телескопа как бы плавает на тончайшей масляной пленке, толщина которой близка к 0,1 мм.

Разумеется, при азимутальной установке приходится непрерывно перемещать телескоп и по высоте и по азимуту. Для этого создана специальная система БТА, включающая в себя электронно-вычислительные устройства, которые по прямому восхождению, склонению светила и моменту времени вычисляют его азимут и высоту. Наведение телескопа на заданный участок неба осуществляется с пультов управления, а погрешности наведения «подправляют» фотоэлектрические гида.

Главный из них представляет собой рефлектор с диаметром зеркала 0,7 метра — сам по себе весьма крупный телескоп. Изображение, создаваемое гидом с помощью телевизионной системы, передается на пульт оператора и при этом фотоэлектрическая система гида автоматически выдает соответствующие сигналы в систему управления БТА. Как это ни поразительно, слежение за звездой получается необыкновенно точным — ошибка не превышает нескольких долей угловой секунды.

Фокусное расстояние главного зеркала БТА равно 24 м (относительное отверстие 1:4). Внутри телескопа на высоте 15-этажного дома укреплен



Рис. 28. Крупнейший в мире 6-метровый рефлексор.

цилиндрическая кабина наблюдателя. Некоторые сравнивают ее с бочкой «впередсмотрящих» на парусных кораблях. И на самом деле, астрономы Специальной астрофизической обсерватории с пол-

ным основанием могут считать себя вперёдсмотрящими астрономической науки.

Возможности нового инструмента огромны. Уже опыт первых наблюдений показал, что БТА доступны объекты 24-й звездной величины, то есть в миллионы раз более слабые, чем те, которые наблюдал Галилей в свои телескопы. Кроме главного телескопа, Специальная астрофизическая обсерватория располагает множеством вспомогательных инструментов, предназначенных, в частности, для подробного изучения таких экзотических объектов, как квазары или ставшие в последние годы популярными «черные дыры» — тела или системы тел с совершенно непривычными с земной точки зрения свойствами. Есть основания полагать, что в БТА удастся наблюдать объекты, удаленные от нас на 10 миллиардов световых лет!

Руководит крупнейшей обсерваторией мира доктор физико-математических наук Иван Михеевич Копылов, опытный советский астрофизик. Коллектив обсерватории молодежный — средний возраст ее сотрудников 27—28 лет. И это вполне естественно — кому, как не молодежи прокладывать новые пути в науке?

В итоге «чемпионата» телескопов, растянувшегося почти на три столетия, первенство завоевано нашей Родиной. Новая «астрономическая столица мира» станет крупным научным центром международного значения — она будет предоставлена для исследований не только советским, но и зарубежным ученым. Вряд ли можно сомневаться, что уже в ближайшие годы шестиметровый гигант принесет астрономам множество поразительных открытий.

«Открылась бездна
Звезд полна,
Звездам числа нет,
Бездне — дна!»

М. В. Ломоносов

Потомки квадрантов

Уже в XVII веке, вскоре после изобретения телескопа, измерительные инструменты стали снабжать зрительными трубами. Выгода от этого новшества была очевидна: так как телескоп увеличивает угол зрения, значит, при сравнительно небольших размерах инструмента возможно получить точность измерения углов куда большую, чем со старинными, даже гигантскими угломерными инструментами.

В современных угломерных инструментах зрительная труба или телескоп играет роль визира. Эта труба снабжена крестом паутинных нитей, укрепленных в ее фокальной плоскости. Прямая, соединяющая центр объектива с точкой пересечения креста нитей, называется визирной линией. И, конечно, всякий угломерный инструмент непременно имеет точно разделенные металлические круги, насаженные на ось инструмента. По ним и отсчитываются измеряемые углы. Есть несколько типов измерительных инструментов, этих потомков древних квадрантов и астролябий, которые можно встретить на большинстве современных обсерваторий.

На рис. 29 изображен так называемый универсальный инструмент — просто *универсал*. Труба универсала может поворачиваться как вокруг горизонтальной, так и вокруг вертикальной оси. На этих осях видны крупные, напоминающие колеса, градуированные круги — *лимбы*. На лимбы направлены небольшие трубки — микроскопы со слабым увеличением, позволяющие четче рассматривать деления на лимбах. На раме универсала укреплены уровни. По ним поворотом опорных регулировочных винтов устанавли-

ливают универсал строго в горизонтальной плоскости.

Универсальный инструмент невелик и принадлежит к типу переносных угломерных инструментов. Диаметры лимбов обычно заключены в пределах от 10 до 30 см, а длина трубы универсала не превышает полметра.

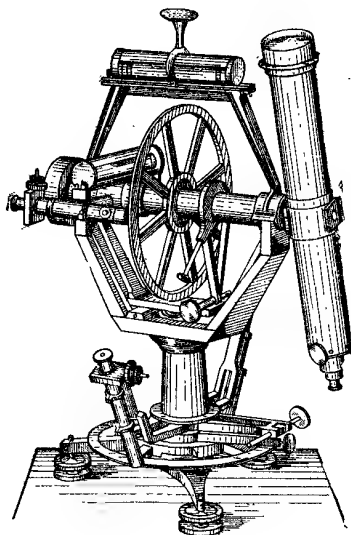


Рис. 29. Универсальный инструмент.

С помощью универсала измеряют с точностью до секунд горизонтальные координаты светила — его азимут и зенитное расстояние или высоту. Зная же момент наблюдения, нетрудно по формулам сферической астрономии вычислить и экваториальные координаты светила, то есть его склонение и прямое восхождение.

Всем хорошо знакомый теодолит — разновидность универсала. Правда, при геодезических измерениях точность обычно требуется меньшая, чем в астрономии, и потому теодолиты в размерах уступают универсалам.

Для максимально точных измерений экваториальных координат звезд используют *меридианный круг* (рис. 30 слева). Как и квадрант, меридианный круг позволяет измерять углы лишь в плоскости небесного меридиана. Его единственная ось направлена точно с востока на запад и ее концы лежат на так называемых лагерах — подставках, укрепленных на неподвижных прочных столбах.

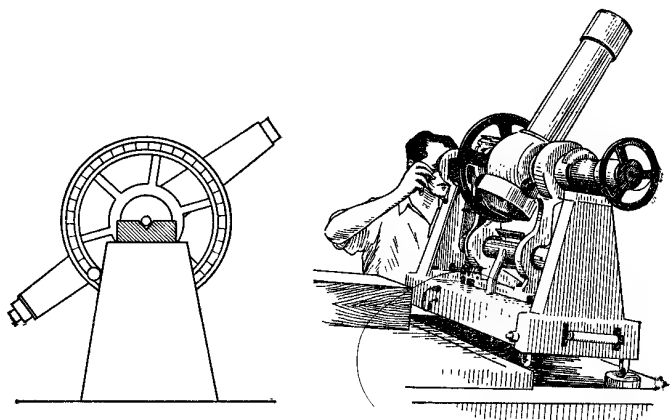


Рис. 30. Меридианный круг (слева) и пассажный инструмент.

Главная часть меридианного круга — огромный лимб, с помощью которого отсчеты высоты (или зенитного расстояния) звезды можно делать с точностью до одной десятой секунды дуги! Если измерено зенитное расстояние z светила в момент его кульминации (то есть в плоскости небесного меридиана), то склонение светила δ находят по простой формуле:

$$\delta = \varphi - z,$$

где φ — широта места наблюдения.

Сложнее найти прямое восхождение звезды. Для этого нужно как можно точнее отметить момент прохождения этой звезды через вертикальную нить инструмента, то есть через небесный меридиан. Легко доказать, что в этом случае прямое восхождение

звезды равно так называемому звездному времени в момент ее кульминации. Это звездное время можно вычислить по тому моменту времени, которое отсчитывают обычные часы. Но нужды в этом нет — у астрономов, работающих на меридианном инструменте, есть специальные хронометры, показывающие именно звездное время.

В 1939 году советский астроном Н. Н. Павлов впервые ввел в практику фотоэлектрический метод регистрации прохождения звезд через небесный меридиан. В приборе, созданном Н. Н. Павловым, лучи кульминирующей звезды падают на фотоэлемент, и электрические сигналы от него фиксируются на ленте хронографа. Точность измерения при этом получается намного большей, чем при наблюдениях невооруженным глазом.

Внешне похож на меридианный круг так называемый *пассажный инструмент* (рис. 30 справа). Его труба также имеет лишь одну ось, направленную с востока на запад. Однако назначение пассажного инструмента иное. С его помощью астрономы фиксируют кульминации звезд, прямое восхождение и склонение которых известно. Тогда звездное время в момент кульминации звезды будет равно ее прямому восхождению. Иначе говоря, пассажный инструмент предназначен для точного измерения времени (сначала звездного, по которому нетрудно рассчитать «обычное», то есть среднее солнечное время). Вот почему у пассажного инструмента нет большого, очень точно градуированного лимба. Вместо него имеется небольшой градуированный круг, который нужен для приближенной установки трубы пассажного инструмента на нужную угловую высоту.

Наряду со стационарными крупными пассажными инструментами есть небольшие переносные. Ось такого инструмента делается полой и в нее с помощью призмы отражаются лучи от звезды. На одном из концов оси укреплен окуляр, в который и ведут наблюдения. Штурманы кораблей и самолетов работают с небольшими оптическими секстантами, которые свободно можно держать в руках. Древние астролябии заменены сложными призмёнными астролябиями с искусственным ртутным горизонтом. Они

используются как переносные инструменты для точного измерения времени и широты места. Как и так называемый зенит-телескоп, предназначенный для измерений зенитных расстояний звезд вблизи зенита, призенная астролябия, по существу, представляет собой своеобразную разновидность универсала.

До изобретения телескопа астрономия, в сущности, была *астрометрией*, то есть наукой, измеряющей угловые расстояния на небе. Ныне астрометрия — лишь один из разделов астрономии. Служба точного времени — одна из главнейших задач современной астрометрии. Другая, не менее ответственная задача, — составление звездных каталогов. В лучших старинных каталогах зарегистрированы более или менее точно положения нескольких сотен звезд. Современные звездные каталоги включают сведения о сотнях тысяч звезд! Одна из главных проблем современной астрометрии — поиски опорных объектов, образующих в пространстве практически неподвижную основу, по отношению к которой можно было бы отсчитывать координаты звезд. Вполне возможно, что такой опорной системой станет совокупность квазаров — очень далеких, во многом пока загадочных источников радиоизлучения, которые из-за своей удаленности практически неподвижны на небосводе.

Как и древние астрономы, современные астрометристы непрерывно стараются уточнить значения фундаментальных постоянных, в первую очередь постоянной прецессии, впервые вычисленной еще Гиппархом. Все то небесное, чем занимаются астрометристы, имеет самое прямое отношение к Земле. Именно из астрометрических измерений можно узнать точную форму нашей Земли, характер движения Луны и планет и многое другое, без чего не могла бы существовать геодезия, картография и многие «земные» науки. Без астрометрии не было бы и космонавтики, так как именно по астрометрическим данным рассчитываются траектории космических летательных аппаратов.

Воздав должное астрометрии, мы обратимся теперь к инструментам, благодаря которым существует и развивается астрофизика — интереснейший из разделов астрономии.

Фотография в астрономии

Как известно, фотография была изобретена французами Ньепсом и Дагерром в сороковых годах прошлого века. Этому предшествовал эксперимент Ньепса, еще в 1822 году впервые получившего при помощи объектива изображение предмета на асфальтовом растворе. Однако «закрепить» это необычное изображение ему не удалось. Лишь в 1835 году Дагерр открыл существование скрытого изображения в слое иодистого серебра, которое он проявлял парами ртути. Первые его снимки, или, как их называли, дагерротипы требовали экспозиции в минуты и даже десятки минут. Однако это не помешало еще в 1841 году получить первый дагерротип Луны. На нем хорошо различались главные формы лунного рельефа.

Четыре года спустя на Гарвардской обсерватории Бонд начал систематически фотографировать Солнце, Луну и звезды. Позже этот успешный опыт распространили и на другие небесные тела. Уже в 1874 году был опубликован первый подробный фотоатлас Луны.

В конце прошлого века в практику астрофотографии вошли броможелатинные пластинки высокой чувствительности, а в 1891 году Липман изобрел цветную фотографию. Хотя первые киносъемочные аппараты братьев Люмьер появились еще в 1895 году, киносъемки в астрономии стали регулярными лишь в последние два-три десятилетия.

Пионерам астрофотографии приходилось преодолевать немалые трудности. Так, например, во время солнечного затмения 1887 года немецкий астроном Фогель собирался фотографировать Солнце на «мокрых» пластинках, заливаемых светочувствительной полужидкой массой (раствором хлористого серебра в коллодии) перед самой съемкой. За несколько минут до начала затмения Фогель залил пластинки коллодием, но труха, обрушившаяся с потолка, застряла в коллодии и съемка была сорвана. В наши дни такие истории выглядят курьезом — современная техника изготовления фотопластинок и пленок очень высока, а приборы, предназначенные для фотографирования небесных тел, весьма совершенны. Для сним-

ков космоса нередко используют пластинки и пленки, чувствительные к невидимым глазом ультрафиолетовым или инфракрасным лучам. Специальные фотокамеры, с помощью которых получают снимки небесных тел, называются *астрографами*. В отличие от объективов обычных рефракторов, объективы астрографов изготавливают так, чтобы в их главном фокусе сводились воедино не желтые и зеленые, а синие и фиолетовые лучи, то есть как раз те, к которым особенно чувствительна фотопластинка. С другой стороны, принимаются все меры, чтобы объективы астрографов не давали аберраций на умеренных расстояниях от оптической оси. Поэтому объективы астрографов, как правило, состоят не из одной или двух, а из многих линз. Так, например, в фотокамерах Петцваля объектив состоит из четырех линз, а в «планарах» и «биотарах» Цейса — даже из шести!

В малых инструментах фотокамера крепится на тубусе рефрактора, который при фотографировании играет роль гида. В старом здании Московской обсерватории уже много десятилетий действует 15-дюймовый двойной астрограф (рис. 31). Две внешне почти одинаковые сдвоенные трубы укреплены на экваториальной установке. Одна из них представляет собой обычный рефрактор, другая — длиннофокусную фотокамеру. Объектив этой камеры имеет диаметр 38 см и светосилу 1 : 100. Поле зрения при этом получается значительным, около трех градусов в поперечнике. Такие стандартные или «нормальные» астрографы есть и на других обсерваториях. Иногда употребляют также тройные и даже четверные астрографы. Наряду с ними широко используют короткофокусные астрографы, поле зрения которых имеет иногда в поперечнике 20—30 градусов. С такими камерами можно фотографировать целые созвездия.

Заметим, что любой рефлектор можно использовать как астрограф, если окулярная часть в нем будет заменена фотопластинкой или пленкой. Вполне годятся для такой цели и зеркально-линзовые системы, например, камеры Шмидта. Словом, семейство астрографов очень многочисленно и разнообразно. Чем же привлекательна для астрономов фотография?

Есть ряд преимуществ фотографии по сравнению с визуальными наблюдениями. Перечислим лишь главные из них.

Прежде всего это *интегральность*, то есть способность накапливать световую энергию, поступающую



Рис. 31. Двойной астрограф Московской обсерватории.

от небесного тела. Глаз такой способностью не обладает. Сколько ни смотри на небо, в конце наблюдения увидишь столько же звезд, как и вначале. Скорее даже из-за утомления глаз постепенно зоркость их притупится.

Совсем иначе ведет себя фотопластинка. Чем больше экспозиция (конечно, до известного предела!), тем более слабые звезды получаются на снимке. Так, например, на двойном астрографе Московской обсерватории за час экспозиции фиксируются звезды до 16-й звездной величины.

Конечно, беспредельно увеличивать экспозицию нельзя. Наступает момент, когда фон ночного неба, кажущийся темным, а на самом деле слабосветящийся, равномерно «затемнит» негатив и тем самым завуалирует изображения звезд. Предельная экспозиция для нормальных астрографов близка к 17 часам, но для короткофокусных камер она гораздо короче.

Моментальность — это второе достоинство фотографии. На снимке можно зафиксировать явления, совершающиеся так быстро, что глаз не успевает их как следует рассмотреть. Таковы, например, метеоры, детали которых видны лишь на фотографиях.

На снимках неба иногда неожиданно обнаруживают незнакомую комету, спутник, астероид или новую звезду. По фотографиям изучают колебания блеска звезд, их смещение на небосводе (из-за собственного движения в пространстве), изменения в форме солнечной короны. Во всех этих случаях проявляется *документальность* фотографии и не случайно поэтому на многих обсерваториях созданы «стеклянные библиотеки» из многих тысяч негативов. В таких библиотеках, существующих уже много десятков лет, светом записаны эпизоды истории мироздания.

Когда наблюдаешь визуально Луну или участок звездного неба, трудно сосредоточить внимание глаза сразу на всех деталях. Особенно это относится к таким кратковременным событиям, как появление солнечной короны во время полного солнечного затмения. Фотопластинка этим недостатком не обладает. Она бесстрастно фиксирует всю панораму и потому это ее свойство называется *панорамностью*.

К преимуществам фотографии надо добавить и *объективность*, тогда как всякие визуальные наблюдения, как правило, отягощены личными ошибками наблюдателя (например, в его рисунках поверхности планеты).

Мы уже отмечали, что *цветочувствительность* фотопластинок значительно шире, чем у человеческого

глаза. Подбирая сорта эмульсии или применяя разнообразные светофильтры, удается фотографировать то, что глазу просто недоступно. Тем самым значительно расширяются возможности изучения Вселенной.

Пусть не подумает читатель, что наши глаза во всем плохи. Кое в чем и они имеют преимущества над фотопластинками. Так, например, при фотосъемке планет быстрые движения воздуха «замывают» изображения, тогда как глаз в отдельные моменты спокойствия атмосферы видит на диске планеты множество неуловимых для пластинки деталей. Трудно фотографировать слабые телеметеоры, неожиданно появляющиеся в поле зрения телескопа. И здесь глаз фиксирует то, что недоступно пластинке. Дефекты пластинок иногда скрывают очень интересные объекты.

И все-таки визуальные наблюдения, как правило, отошли в прошлое. Фотография в современных обсерваториях применяется практически всюду и везде.

Прирученная радуга

Когда Солнце находится над горизонтом примерно на высоте 17° , в противоположной части небосвода при некоторых условиях (обычно на фоне дождевой тучи) возникает разноцветная искривленная прозрачная полоса, именуемая радугой. Образуется она в результате дисперсии, т. е. разложения белого солнечного света на составные цвета при прохождении этого света сквозь мельчайшие водяные капельки. Много веков люди любовались радугой, не подозревая, что дисперсия света может стать ключом к познанию физической природы небесных тел.

Впервые искусственную радугу с научной целью получил в 1665 году Исаак Ньютон. В темную комнату сквозь небольшое отверстие в затемненном оконном стекле Ньютон пропустил ослепительно белый солнечный луч. Когда на пути этого луча Ньютон поставил трехгранную стеклянную призму, на белой стене появилась разноцветная полоска — солнечный спектр. Причина ясна — призма преломляет лучи разного цвета (то есть разной длины волны) по-разному. Чем меньше длина волны светового луча, тем больше

его коэффициент преломления. Поэтому среди видимых глазом лучей наибольшее преломление в призме испытывают фиолетовые лучи, а наименьшее — красные. Опыт Ньютона впервые доказал, что белый солнечный луч представляет собой смешение разнообразных цветовых лучей — фиолетового, синего, голубого, зеленого, желтого, оранжевого и красного.

Ньютон таким образом объяснил хроматическую aberrацию линз и неустранимость этих aberrаций заставила его изобрести рефлектор. Но великий английский ученый рассматривал дисперсию света как досадную помеху и он не видел, как можно употребить это явление на пользу астрономии.

В 1802 году соотечественник Ньютона Волластон заметил в солнечном спектре несколько темных линий. Он не понял их происхождения и посчитал, что загадочные линии представляют собой простые границы между цветами спектра.

Двенадцать лет спустя Фраунгофер открыл в спектре Солнца около 600 темных линий, с тех пор носящих его имя. Более 300 из них он зарисовал, некоторые обозначил латинскими буквами и эти обозначения Фраунгофера сохранились до сих пор. Но, как и его предшественники, Фраунгофер не знал, какое отношение все эти линии имеют к химическому составу Солнца.

Как не раз бывало в истории человечества, появились самонадеянные пророки, заявлявшие, что человечество никогда не узнает, из чего состоят небесные тела. Так, в 1842 году знаменитый французский философ, основоположник позитивизма, Огюст Конт писал: «Никогда и ни в коем случае нам не удастся изучить химический состав небесных тел». Но наука оказалась сильнее этих пессимистических пророчеств.

В 1859 году немецкий физик Кирхгоф открыл законы, положившие начало спектральному анализу. К этому времени уже был изобретен *спектроскоп* — простейший спектральный прибор. Спектроскоп состоит из двух трубок и трехгранной призмы, помещенной между ними. Первая из них, обращенная к объекту, называется коллиматором. На одном ее конце имеется узкая щель, а на другом — собирательная линза, причем щель находится в фокусе линзы.

По законам оптики свет, прошедший через коллиматор, выходит из него параллельным пучком и падает на призму, которая разлагает его в спектр. Этот спектр рассматривается затем во вторую трубку, которая, по существу, является обычной зрительной трубой.

Нетрудно сообразить, что спектр, в сущности, есть совокупность разноцветных изображений щели коллиматора. Для «растягивания» спектра в длину иногда вместо одной призмы употребляют несколько.

Если зрительную трубу в спектроскопе заменить фотокамерой, получится *спектрограф* (рис. 32). С его

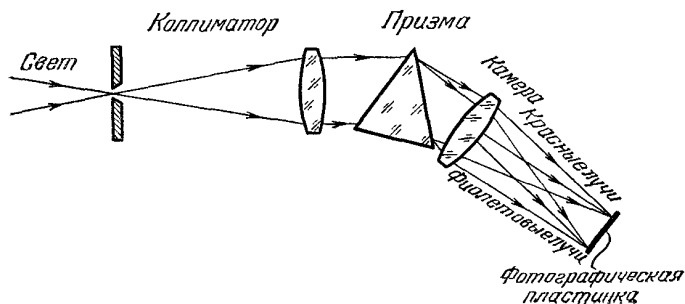


Рис. 32. Схема спектрографа.

помощью можно получать фотографии спектров небесных светил, называемые *спектрограммами*. Со времен Кирхгофа различают три основных типа спектров:

Если источником света является твердое или жидкое раскаленное тело, или очень сильно нагретый ионизованный газ, то спектр получается сплошным, или *непрерывным*. При наблюдении в спектроскоп такой спектр выглядит непрерывной радужной полоской с постепенным переходом цветов от красного к фиолетовому. Непрерывный спектр порождается также очень плотным светящимся газом.

Спектр светящегося разреженного газа представляет собой совокупность отдельных узких разноцветных линий на черном фоне. Такой спектр называется

линейчатым. Так как каждый газ дает в спектре только свои, присущие ему линии, изучение линейчатых спектров позволяет установить химический состав светящегося газа.

Если между источником непрерывного спектра и наблюдателем расположен газ, более холодный, чем источник непрерывного спектра, то в этом случае получится *спектр поглощения* — радужная полоска, испещренная поперечными узкими темными линиями («линиями поглощения»). Характерно, что всякий газ поглощает только те лучи, которые он сам испускает в состоянии свечения. Поэтому спектр поглощения позволяет установить состав газа, поглотившего часть лучей источника непрерывного спектра.

По расположению спектральных линий, их интенсивности и другим особенностям можно определить плотность небесных тел, процентное содержание в них различных химических элементов, наличие магнитного поля и многое другое.

Температуру небесного тела можно узнать по распределению яркости вдоль его спектра. Максимум яркости приходится на разные места спектра в зависимости от температуры небесного тела. Если тело сравнительно холодное и светит красным цветом, то наибольшей яркостью обладает красная часть его спектра. С повышением температуры максимум яркости смещается в сторону меньших длин световых волн, то есть к фиолетовому концу спектра.

При движении источника света вдоль луча зрения спектральные линии смещаются: при приближении светящегося тела — к фиолетовому концу его спектра, при удалении — к красному. Величина смещения зависит от скорости движения тела. В этом заключается так называемый принцип Доплера — Физо, экспериментально подтвержденный русским астрономом А. А. Белопольским. Пользуясь принципом Доплера — Физо, можно измерить скорости движения небесных тел в пространстве и скорости их вращения. Спектр небесного тела позволяет судить и о скорости некоторых процессов, происходящих на его поверхности или в его атмосфере. Спектральный анализ стал одним из самых мощных методов современной астрофизики. Он

подтвердил сходство химического состава Земли и небесных тел, что является одним из выражений материального единства Вселенной.

К концу прошлого века благодаря спектральному анализу был хорошо изучен состав и строение солнечной атмосферы. Начались спектральные наблюдения планет и комет. Одним из пионеров в изучении спектров звезд был директор Ватиканской обсерватории патер Анджело Секки, еще в 70-х годах прошлого века предложивший классификацию звездных спектров. Эта классификация была позже расширена и уточнена. К 1924 году обсерватория Маунт Вилсон завершила публикацию громадного Дрэперовского каталога, содержащего спектральную классификацию 225 000 звезд. Изучены и сведены в каталоги параметры движений многих десятков тысяч звезд. Можно смело утверждать, что современное миропонимание было бы невозможным без спектрального анализа. Прирученная радуга раскрыла перед нами необычайное многообразие и сложность космоса. Вместе с тем спектральный анализ верно и успешно служит всем земным наукам.

Какие же спектральные приборы употреблялись и употребляются в астрономии?

Прежде всего упомянем *объективную призму*, пожалуй, простейший из всех спектральных астрономических приборов (рис. 33). По существу, он представляет собой фотокамеру, перед объективом которой без всякого коллиматора укреплена крупная призма, закрывающая собой весь объектив. Для Солнца, планет, комет и других протяженных объектов такой прибор непригоден. Но для звезд, кажущихся на небе светящимися точками, объективная призма создает на фотопластинке тонкие «ниточные» спектры. Если при фотографировании пластинку с помощью специального приспособления перемещать перпендикулярно к направлению спектра, «ниточные» спектры звезд растянутся в полоску, на которой легко различить

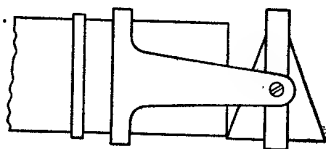


Рис. 33. Объективная призма.

линии, характеризующие состав и различные физические параметры звезды.

Замечательно, что с помощью объективной призмы можно одновременно заснять спектры десятков, а то и сотен звезд, попавших в поле зрения фотокамеры. К сожалению, спектры, полученные объективной призмой, обладают небольшой дисперсией (то есть сравнительно коротки), и это затрудняет их изучение.

Спектроскопы употреблялись лишь на заре астрофизики. Позже они повсеместно вытеснены *спектрографами*, доведенными до высокой степени совершенства. Прежде в некоторых случаях (например, при фотографировании спектров слабых звезд) экспозицию приходилось растягивать на сотни часов, то есть фотографировать один и тот же участок неба много ночей, делая перерывы в дневное время и пасмурную погоду. Так как при этом старались, чтобы изображения спектра звезды попадали в одно и то же место пластинки, придумывали сложные приспособления, решавшие эту задачу. При современных высокочувствительных фотопластинках нужда в сверхдлинных экспозициях, естественно, отпала. Заметим, что во время съемки температура спектрографа должна меняться не более чем на 0,1 градуса, так как иначе линии в спектре «размажутся» и станут недоступными для исследования. И этого удастся достичь, причем и в таком случае сложные средства вполне оправданы целью — получением высококачественных спектрограмм.

Все *щелевые* спектрографы (то есть спектрографы, имеющие коллиматор с щелью) присоединяются к телескопу так, чтобы изображение светила фокусировалось на щели спектрографа (окулярная часть телескопа при этом удаляется) (рис. 34).

Иногда для получения большей дисперсии спектрографы делались двух- и даже трехпризменными. Не всегда призмы изготовлялись из обычного стекла, задерживающего ультрафиолетовые лучи. Если хотели исследовать ультрафиолетовую часть спектра звезд, то употребляли *кварцевый спектрограф*, в котором призма изготовлена из прозрачного кварца. Так, например, 122-сантиметровый рефлектор Крымской обсерватории был снабжен двумя спектрографами — стеклянным и кварцевым. В настоящее время приз-

менные спектрографы практически вышли из употребления.

Обязательно ли спектрограф должен иметь коллиматор со щелью? Оказывается, необязательно. У бесщелевого спектрографа нет коллиматора, зато есть особая рассеивающая коллиматорная линза. Помещенная перед фокусом телескопа, она сходящийся от

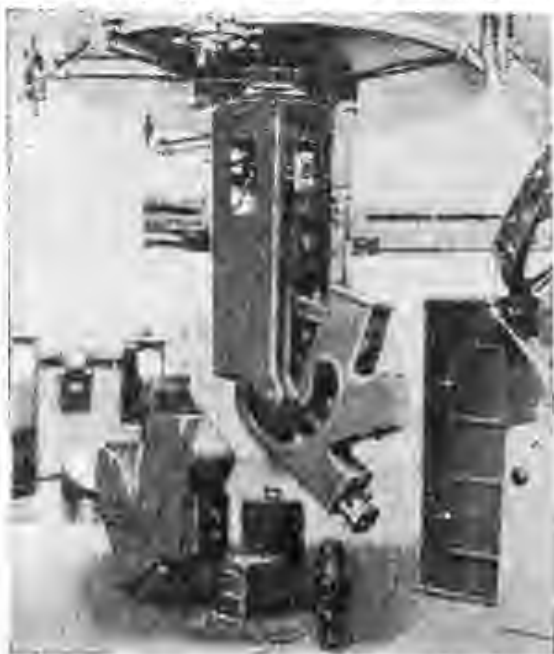


Рис. 34. Спектрограф, укрепленный на окулярном конце телескопа.

объектива световой пучок превращает в параллельный, выполняя тем самым роль коллиматора. Этот пучок затем падает на небольшую призму, за которой помещается фотокамера. В такой системе вместо линз иногда употребляют зеркала. Ее преимущества по сравнению с объективной призмой понятны — для очень больших объективов изготовить крупные

хорошие призмы весьма трудно, тогда как в бесщелевом спектрографе призмы небольшие. В то же время бесщелевой спектрограф обладает значительной светосилой и позволяет сразу фотографировать спектры многих звезд.

В 1937 году вошли в практику так называемые *небулярные спектрографы*, предназначенные для спектральных исследований газовых туманностей. Эти протяженные объекты обладают очень небольшой поверхностной яркостью и потому фотографировать их спектры обычными спектральными приборами практически очень трудно.

В небулярном спектрографе, представляющем собой нечто среднее между объективной призмой и щелевым спектрографом, щель помещается на значительном расстоянии от призмы и камеры спектрографа, причем эта щель просто проектируется на наблюдаемый объект. Сейчас небулярные спектрографы не употребляются.

Из астрономических спектральных приборов в настоящее время чаще всего употребляются *дифракционные спектрографы*. Они основаны на явлении дифракции света, то есть отклонении света от прямолинейного распространения. Свет при этом, огибая препятствие, заходит в область геометрической тени. Суть дифракции объяснена на рис. 35.

Представьте себе, что на узкую щель AB падает параллельный пучок лучей. Плоскость, перпендикулярная к этому пучку, образует плоский фронт световой волны. Как установил еще Христиан Гюйгенс в XVII веке, каждую точку фронта световой волны можно рассматривать как источник самостоятельных световых колебаний.

Представим себе теперь три параллельных луча, выходящих из точек A , C и B фронта световой волны под углом φ к первоначальному направлению лучей. Двоковыпуклая линза собирает эти лучи в некоторой точке M на экране E . Разность хода δ лучей AM и CM равна отрезку AD , причем очевидно, что $\delta = \frac{l}{2} \sin \varphi$, где l — ширина щели. Если для точки M $\delta = (2n - 1) \frac{\lambda}{2}$, то есть нечетному числу полуволн,

то в точке M благодаря интерференции (сложению) световых колебаний возникает тьма. Там же, где $\delta = 2n \frac{\lambda}{2}$, возникают области максимальной освещенности.

Таким образом, за щелью на экране появятся светлые и темные полосы разной яркости, причем самая яркая полоса получится прямо за щелью. Так как разность хода δ зависит от длины волны λ , то максимумы света для разноцветных лучей будут приходиться на различные места экрана. Иначе говоря, если на щель падает белый пучок света, на экране получится ряд спектров, яркость которых убывает по мере удаления от середины экрана. Самыми яркими будут спектры первого порядка, то есть ближайšie к центральной белой полосе.

Если вместо одной щели взять несколько (то есть дифракционную решетку), действия отдельных щелей сложатся и дифракционные спектры будут тем ярче, чем больше щелей на единицу длины имеет решетка. Еще в конце прошлого века Роуланд в Америке изготовлял решетки, число щелей в которых доходило до 2000 на 1 мм длины.

В современных звездных дифракционных спектрографах роль призмы выполняет алюминированная плоская пластинка, на которую алмазом нанесены штрихи, действующие как щели. Для получения спектров с низкой дисперсией перед объективом телескопа ставятся очень грубые решетки из стержней, разделенных воздушными промежутками. Наиболее часто в настоящее время используют *отражательные* дифракционные решетки в виде алюминированного зеркала с нанесенными на него параллельными штрихами.

Дифракционные спектрографы применяются главным образом для наблюдений Солнца, этого ослепительно яркого источника света, дающего яркие

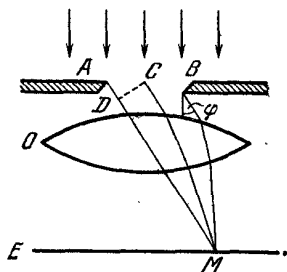


Рис. 35. Дифракция света от одной щели.

дифракционные спектры. Вместе с другими, подчас весьма оригинальными и своеобразными, приборами они составляют оборудование так называемых солнечных обсерваторий.

Солнечные обсерватории

Еще в прошлом веке для наблюдений Солнца, как правило, применялись те же инструменты, что и для изучения других небесных тел. Правда, при этом необходимо было всячески ослабить световой поток, поступающий в телескоп от Солнца. Для этой цели использовали темные фильтры, укрепляемые в окулярах, или за окулярной частью телескопа помещали белый экран, на который проектировалось сильно ослабленное в яркости изображение небесного светила. Иногда пользовались специальными «солнечными» окулярами, в которых поток солнечного света ослаблялся поляроидами или другими оптическими приспособлениями.

Все эти несложные методы сохранились и в современной «любительской» астрономии, то есть для малых рефракторов и рефлекторов. Что же касается больших обсерваторий, то постепенно из них выделился особый класс «солнечных» обсерваторий, все оборудование которых предназначено исключительно для наблюдений Солнца. Начался этот процесс специализации уже давно, более ста лет назад, когда в 1868 году английский астрофизик Н. Локьер на заседании Парижской Академии наук доложил об изобретенном им способе наблюдать солнечные протуберанцы в любой солнечный день, а не только во время полных солнечных затмений. Одновременно с Локьером и независимо от него такое же открытие сделал и французский астроном Ж. Жансен.

Как известно, солнечные протуберанцы (или выступы) представляют собой облачные образования, состоящие преимущественно из водорода и гелия. Во время полных солнечных затмений, когда Солнце закрыто черным диском Луны, протуберанцы часто напоминают красные язычки пламени, высывающиеся из хромосферы. Размеры, форма и движения

их весьма разнообразны. Если в момент полной фазы солнечного затмения щель спектроскопа (присоединенного к телескопу) направить по касательной к поверхности Солнца, можно увидеть ряд ярких разноцветных линий — спектр протуберанца. Каждая такая линия есть, в сущности, цветное изображение щели спектроскопа. Если сделать щель, скажем, серповидной, то и цветные линии в спектре также получатся серповидными. Но вот что важно: внутри каждой линии видно цветное изображение протуберанца, причем тем отчетливее, чем больше дисперсия спектроскопа, то есть чем более широкий спектр он дает.

Как это ни удивительно, но и после затмения протуберанцы останутся видимыми, хотя несколько ослабленными. Объясняется это тем, что излучение протуберанца распределяется по нескольким цветным линиям, тогда как свет неба, также попавший в спектроскоп, распределяется по всему непрерывному спектру. Следовательно, относительный контраст изображений неба и протуберанца при описанном способе наблюдения возрастает.

Протуберанц-спектроскоп, первый из специальных солнечных приборов, состоит из небольшого коллиматора, нескольких сложных призм прямого зрения и небольшого рефрактора. Сегодня этот прибор выглядит примитивным и не употребляется. Но сто лет назад он казался чудом астрономической техники и по поводу его изобретения была выбита даже особая золотая медаль с портретами Локьера и Жансена.

В прошлом веке для фотографирования Солнца или его спектра фотокамеры и спектрографы прикрепляли к окулярной части телескопа. Но так как для Солнца и те и другие приборы были весьма массивными, это вызывало неудобства (в частности, гнутые трубы). Выход был найден в изобретении *целостата*, плоского зеркала, вращающегося с помощью часового механизма вокруг полярной оси со скоростью, вдвое меньшей осевого вращения Земли. Солнечный луч, отраженный целостатом, падает на второе дополнительное зеркало, которое направляет его в объектив горизонтально закрепленного телескопа или спектрографа. В этом случае движущейся частью инструмента является небольшое зеркало, а

главная его часть покоится неподвижно. В других случаях отраженный от целостата луч направляется не по горизонтали, а по вертикали, и тогда вместо горизонтального солнечного телескопа получается телескоп вертикальный. В этом случае целостат устанавливают на высокой башне, а вертикальный солнечный телескоп часто называют иначе башенным телескопом.

Башенный телескоп имеет некоторое преимущество перед горизонтальным. В нем целостат находится сравнительно высоко над поверхностью Земли, то есть выше приземного беспокойного и загрязненного слоя воздуха, а это улучшает изображение Солнца.

Башенный солнечный телескоп Крымской астрофизической обсерватории представляет собой сложный оптико-механический агрегат. С башни высотой 20 м целостат направляет солнечный луч вниз на главное распределительное зеркало, расположенное на глубине 4 м под землей. Отсюда с помощью дополнительных зеркал солнечный луч распределяется на несколько приборов, в том числе и дифракционный спектрограф, дающий очень высокую дисперсию (один ангстрем на миллиметр). Замечательно, что всем этим агрегатом управляют лишь два человека — наблюдатель и его помощник.

В Пулковской обсерватории еще до войны Н. Г. Пономаревым был установлен горизонтальный солнечный телескоп, с сожалением, уничтоженный во время войны. В обновленном варианте он был восстановлен в 1951 году и с тех пор на нем ведутся регулярные наблюдения. Замечательно, что этот телескоп не имеет трубы — ее роль выполняет сам павильон солнечного телескопа, кстати сказать, вытянувшийся с юга на север на полсотни метров. С помощью горизонтального телескопа регулярно фотографируются поверхность Солнца и его спектр.

Хорошо известно, что на вершинах гор фон яркого неба значительно темнее, чем у поверхности моря. С атмосферных высот около 200 км наступают условия, равноценные тем, которые характерны для межпланетного пространства — свечение воздуха практически незаметно, и на черном звездном небе ярко сияет Солнце. Если заслонить ослепительный солнеч-

ный диск каким-нибудь круглым непрозрачным экраном, вокруг Солнца всегда можно увидеть и хромосферу с протуберанцами и жемчужно-серебристую солнечную корону — наиболее внешние и разреженные части солнечной атмосферы.

В 1930 году французский астроном Лио проделал опыт, напоминающий только что приведенные теоретические рассуждения. Он построил прибор, называемый с тех пор *внезатменным коронографом*. Это небольшой телескоп, объектив которого создает изображение Солнца на непрозрачном диске, играющем роль Луны. «Искусственная Луна» отражает лучи света в сторону, где он и поглощается. За «искусственной Луной» располагается фотокамера, с помощью которой в любое время удастся заснять внутреннее, ближайшие к Солнцу части его короны или (применив бесщелевой спектрограф) спектр короны.

Сам Лио вел наблюдения на обсерватории Пикдю-Миди (высота 2850 м). В Советском Союзе уже много лет под Кисловодском действует Горная астрономическая станция Пулковской обсерватории (высота 2130 м), где также установлен внезатменный коронограф. Главное в этих приборах — максимально устранить основное излучение солнечной поверхности, чтобы как можно ярче проявилось собственное свечение солнечной короны.

Еще в конце прошлого века американец Хэл и француз Деландр независимо друг от друга построили прибор, ставший впоследствии едва ли не главным инструментом для изучения физики Солнца. Речь идет о *спектрогелиографе*, позволяющем изучать Солнце как бы по частям, или, точнее говоря, «в лучах» различных химических элементов.

Принцип действия спектрогелиографа достаточно прост. Представьте себе солнечный спектр, спроектированный объективом спектрографа на непрозрачный экран. Сделаем в этом экране узкую щель, которую совместим с какой-нибудь из линий поглощения солнечного спектра, например, с головной линией H_{α} серии водорода. Хотя в спектре Солнца эта линия, как и остальные линии поглощения, выглядит темной, на самом деле ее «темнота» относительна — она вызвана

контрастом в сравнении с окружающими линии поглощения очень яркими участками непрерывного спектра. Поэтому сквозь щель, совмещенную с линией

H_{α} , проникнут солнечные лучи, порожденные солнечными атомами водорода. Если на их пути поставить фотопластинку, на ней получится снимок участка Солнца «в лучах водорода», и именно того участка, который «вырезает» щель спектрографа на диске Солнца.

Будем теперь перемещать щель спектрографа по диску Солнца, соответствующим образом смещая и фотопластинку. Как из детских кубиков складывается рисунок, так и из фотографий отдельных узких участков Солнца постепенно сложится общая панорама Солнца в лучах водорода, так называемая *спектрогелиограмма* (рис. 36).

Совершенно таким же способом удастся получить снимки Солнца в лучах гелия, кальция и других элементов. На спектрогелиограммах

Рис. 36. Вверху спектрогелиограмма Солнца (в лучах водорода). Внизу обычный снимок Солнца.

Солнца хорошо различимы светлые и более темные облака, из которых состоит солнечная атмосфера, или, точнее, ее нижний слой, именуемый хромосферой. Эти облака называются *флоккулами* и по их характеру и движению астрономы изучают физические процессы, происходящие в хромосфере.

В лучах водорода на спектрогелиограммах видны темные *волокна* — протуберанцы, проектирующиеся на солнечную поверхность.

Спустя 35 лет после изобретения спектрогелиографа Хэл построил *спектрогелиоскоп*, работающий на том же принципе, что и спектрогелиограф. Однако в спектрогелиоскопе обе щели сделаны быстроколеблющимися, благодаря чему в глазу наблюдателя задерживается зрительное впечатление. Иначе говоря, спектрогелиоскоп — прибор для *визуальных* наблюдений Солнца в лучах различных элементов. Глаз наблюдателя подчас фиксирует такие быстрые изменения деталей отдельных флоккул, которые спектрогелиограф запечатлеть не в состоянии. Как спектрогелиографы, так и спектрогелиоскопы имеются в ряде советских обсерваторий, в частности, в Пулкове, Харькове и в Крыму.

Есть и другие способы изучать Солнце «в лучах» какого-нибудь элемента. Такую возможность предоставляют так называемые *интерференционно-поляризационные фильтры*. Каждый такой фильтр состоит из стопки отполированных кварцевых пластинок разной толщины, разделенных специальными пленками — поляроидами. Последние обладают свойством пропускать лучи лишь определенных длин волн. Можно так подобрать толщину кварцевых пластинок, что фильтр пропустит очень узкий участок солнечного спектра (шириной до одного ангстрема). Интерференционно-поляризационные фильтры применяются, в частности, для кинематографирования солнечных протуберанцев. Эти фильмы оставляют сильное впечатление. В ускоренном по сравнению с действительностью темпе зритель видит взлеты и рассеивание протуберанцев, всасывание их вещества в хромосферу и многое другое, совершенно недоступное при наблюдениях иными средствами. Пожалуй, ныне ни одно космическое тело не изучается так тщательно, как Солнце.

Измерители излучений

До сих пор речь шла о визуальных и фотографических наблюдениях небесных тел, при которых приемники излучений (глаз и фотопластинка) фиксировали

всю ту долю излучений, к которой они чувствительны. Так, например, в среднем глаз наблюдателя наиболее чувствителен к зеленым лучам с длиной волны около 555 миллимикрон. Границы же участка спектра, к которым вообще чувствителен человеческий глаз, заключены в пределах от 400 до 760 миллимикрон. За этими границами глаз просто ничего не видит.

Чувствительность фотопластинок зависит от сорта эмульсии. Так, например, галоидное серебро поглощает свет с длиной волны, меньшей 500 миллимикрон. Если добавить в эмульсию специальные красители (сенсibiliзаторы), то чувствительность фотопластинок существенно расширяется в область красных и инфракрасных лучей (до длин волн около 1300 миллимикрон). Но и глаз и пластинка являются лишь приемниками, но не измерителями излучений. К числу последних относятся те несколько приборов, описания которых даны ниже. Это, разумеется, лишь отдельные примеры — класс измерителей излучений, употребляемых в астрономии, очень широк.

Одна из важных задач астрофизики — измерение температуры Солнца. Сделать это можно по-разному, в частности, с помощью так называемого *актинометра*. В простейшем варианте он представлял собой жестяную цилиндрическую коробку, целиком наполненную водой. В эту коробку, крышка которой зачернена, с другой ее стороны вставлен термометр, шкала которого выходит наружу. В ясный солнечный день зачерненную крышку актинометра освещали перпендикулярно падающими на нее солнечными лучами и по степени нагрева воды за определенное время рассчитывали *солнечную постоянную* — количество энергии, получаемой от Солнца одним квадратным сантиметром земной поверхности за одну минуту. Зная же эту величину, нетрудно вычислить температуру солнечной поверхности.

Солнце — уникальный по мощности излучатель. В ночное время от Луны, планет и звезд до Земли доходит несравнимо меньшее количество энергии. Для ее измерения нужны очень чувствительные приборы, среди которых прежде употреблялся *термоэлемент* (рис. 37 вверху). Он представляет собой спай двух тонких проволок, сделанных из разных металлов

(например, меди и висмута). Если спай нагреть, а свободные концы проволочек соединить с гальванометром, стрелка гальванометра отклоняется в сторону, свидетельствуя о появлении тока. Чем сильнее нагрет спай, тем большей силы ток течет в электрической цепи.

Астрономические термоэлементы состояли из двух спаев, помещаемых в фокальной плоскости телескопа.

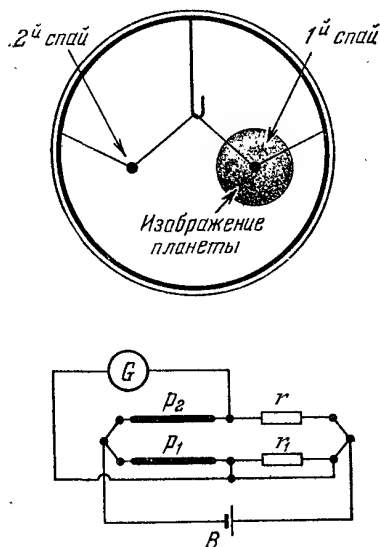


Рис. 37. Термоэлемент и болометр.

На один из них направляли излучение планеты (например, Марса), на второй — излучение соседнего участка неба. Очевидно, что разность нагрева двух спаев вызвана только излучением планеты, температуру которой подсчитывали, измерив силу тока в термоэлементе.

Этот прибор был очень миниатюрен — его проволоочки в несколько раз тоньше человеческого волоса, а длина близка к 0,5 мм. Необычайно чувствителен и гальванометр, способный измерять токи силой до 10^{-11} ампера.

Другой миниатюрный прибор, употреблявшийся раньше в астрофизике, — *радиометр*. Он представлял собой крошечный пропеллер, лопасти которого были сделаны из крылышек мухи! Одна из этих лопастей зачернена и потому, если поместить радиометр в фокус телескопа, из-за неравномерного нагрева его лопастей пропеллер начнет поворачиваться. По закручиванию нити, на которую подвешен пропеллер, можно измерить величину падающего на радиометр излучения.

Главная часть *болометра* (см. рис. 37 внизу), еще одного измерителя излучений, — зачерненная проволочка P_1 , представляющая собой одну из плеч мостика Уитстона. В этот мостик входят также второе «плечо» — проволочка P_2 , сопротивления r и r_1 , источник тока B и гальванометр G . Когда проволочка P_1 нагревается, ее сопротивление меняется, и, следовательно, электрическое равновесие в мостике Уитстона нарушается. По отклонению гальванометра G легко вычислить температуру нагретой проволоки, а затем и величину падающего на болометр излучения.

Если проволочку болометра медленно перемещать вдоль солнечного спектра, можно измерить распределение энергии вдоль спектра и сравнить это распределение с тем, которое характерно для абсолютно черного тела соответствующей температуры. Такая комбинация спектроскопа и болометра называется *спектроболометром*.

Все рассмотренные измерители излучений (термоэлемент, радиометр и болометр), ныне замененные различной «инфракрасной» техникой, были одинаково чувствительны к излучению любой длины волны. Этого нельзя сказать о *фотоэлементе*, который подобно глазу и фотопластинке может служить примером *селективного* (т. е. избирательного) приемника излучений.

Фотоэлемент основан на явлении фотоэффекта — способности некоторых веществ испускать электроны под действием падающего на них света. К числу таких веществ, например, относятся щелочные металлы (натрий, калий, цезий и другие). Если слой со щелочным металлом соединить с отрицательным полюсом аккумулятора, а вблизи поместить металлическое кольцо, на которое дан положительный потенциал,

в цепи потечет ток, сила которого зависит от величины падающего на фотоэлемент излучения.

Некоторые из фотоэлементов обладают примерно такой же чувствительностью, как обычная фотопластинка. Другие работают в широком интервале спектра — от ультрафиолетовых до инфракрасных лучей. Для измерения излучений в разных частях спектра употребляются фотоэлектрические спектрофотометры, основой которых служат фотоэлементы.

В настоящее время на смену фотоэлементам практически повсюду пришли более сложные приборы — фотоэлектронные умножители (ФЭУ). В этих приборах используется так называемая вторичная электронная эмиссия — явление, при котором достаточно энергичные электроны, ударяясь о поверхность проводника, могут выбить еще несколько электронов. Те в свою очередь «вышибают» новые электроны и тем самым первично слабый фототок в многокаскадном ФЭУ может быть значительно усилен. Чувствительность современных ФЭУ несравненно выше чувствительности прежних фотоэлементов.

Мы ограничимся этими примерами и обратимся теперь к особому, обширному и быстро прогрессирующему классу астрономической техники.

О будущем оптических телескопов

Естественное стремление увеличивать диаметр вновь создаваемых рефлекторов наталкивается на значительные технические трудности. Как уже говорилось, при очень большом поперечнике главного зеркала его вес становится существенной помехой для всей конструкции телескопа. Приходится прибегать к сложным средствам, препятствующим прогибу зеркала под действием собственного веса и обеспечивающим легкое, плавное его перемещение вокруг двух осей. Система рычагов и воздушных подушек при любом положении телескопа должна «нейтрализовать» вес его зеркала примерно на 99,9%. В противном случае параболическая поверхность зеркала заметно деформируется и изображения светил сильно искажаются.

Немалые трудности связаны с выбором для зеркала такого материала, который бы обладал практи-

чески неуловимым термическим расширением. На смену стеклу пришли пирекс, плавленый кварц, а в последнее время ситал, коэффициент расширения которого в сотни раз меньше коэффициента расширения обычного стекла.

Предложены проекты *многозеркальных рефлекторов*. В одном из таких проектируемых телескопов шесть вогнутых зеркал диаметром 1,83 м каждое собирают от светила излучение, которое затем с помощью двух небольших диагональных зеркал направляется в пространство между главными зеркалами. Такой многозеркальный рефлектор по эффективности равноценен 4,5-метровому однозеркальному телескопу, но стоимость его изготовления несколько ниже. Существует проект рефлектора из 25 зеркал, равноценного 7,6-метровому однозеркальному телескопу, но, увы, у такого рода оптических систем есть существенный недостаток: неискаженное поле зрения у них очень мало и качество изображений светил невысокое.

Заметим, что стоимость телескопа пропорциональна квадрату его диаметра, а трудности его изготовления (с увеличением диаметра) возрастают в еще большей степени. Поэтому астрономы и оптики стремятся найти принципиально новые оптические схемы*).

Еще в 20-х годах текущего века вместо параболического главного зеркала было предложено употреблять *гиперболическое*. Если и второе зеркало в рефлекторе такого типа сделать гиперболическим, то можно получить большое поле практически неискаженных изображений. Такие *апланатические*, как их называют, оптические системы бесспорно являются перспективными.

Еще интереснее проекты объединения нескольких телескопов в одну оптическую систему. Для этого изображение светила с помощью телевидения должно быть введено в память ЭВМ, где оно может накапливаться сколь угодно долго. Естественно, что ЭВМ может суммировать изображения от нескольких теле

*) Подробнее см. П. В. Щеглов, «Перспективы наземной оптической астрономии», Сборник «Будущее науки», «Знание», 1974.

скопов, даже если они установлены на разных обсерваториях. Подобные устройства в некоторых проектах оказываются равноценными однозеркальному рефлектору с диаметром 100 метров! Если такие системы войдут в строй в ближайшее время, к концу века нам станут доступны объекты 30-й звездной величины, то есть, иначе говоря, радиус изучаемой нами части Вселенной увеличится в 10 раз!

Еще в прошлом веке астрономы начали строить обсерватории на вершинах гор, где воздух чище, спокойнее и изображения светил гораздо лучше, чем на уровне моря. Будущие оптические телескопы, несомненно, будут устанавливаться в районах с отличным *астроклиматом*, то есть с атмосферными условиями, максимально благоприятными для астрономических наблюдений.

Наземная оптическая астрономия далеко еще не сказала свое последнее слово. По-прежнему большие оптические телескопы выгоднее устанавливать на Земле, чем выводить на космические орбиты. Земные обсерватории будут успешно служить науке по крайней мере еще много десятилетий.

«Современная радиоастрономия использует самые чувствительные приемники и самые большие антенные системы. Радиоастрономия ценна прежде всего потому, что она существенно обогатила наши представления о Вселенной».

И. С. Шкловский

Зарождение радиоастрономии

Декабрь 1931 года... В одной из американских лабораторий ее сотрудник Карл Янский изучает атмосферные помехи радиоприему. Нормальный ход радиопередачи на волне 14,7 м нарушен шумами, интенсивность которых не остается постоянной.

Постепенно выясняется загадочная периодичность — каждые 23 часа 56 минут помехи становятся особенно сильными. И так изо дня в день, из месяца в месяц.

Впрочем, загадка быстро находит свое решение. Станный период в точности равен продолжительности звездных суток в единицах солнечного времени. Яснее говоря, через каждые 23 часа 56 минут по обычным часам, отсчитывающим солнечное время, земной шар совершает полный оборот вокруг оси, и все звезды снова возвращаются в первоначальное положение относительно горизонта любого пункта Земли.

Отсюда Янский делает естественный вывод: досадные помехи имеют космическое происхождение. Какая-то таинственная космическая «радиостанция» раз в сутки занимает такое положение на небе, что ее радиопередача достигает наибольшей интенсивности.

Янский пытается отыскать объект, вызывающий радиопомехи. И, несмотря на несовершенство приемной радиоаппаратуры, виновник найден. Радиоволны исходят из созвездия Стрельца, того самого, в направлении которого находится ядро нашей звездной системы — Галактики.

Так родилась *радиоастрономия* — одна из наиболее увлекательных отраслей современной астрономии.

Первые пятнадцать лет радиоастрономия почти не развивалась. Многим было еще не ясно, принесут ли радиометоды какую-нибудь существенную пользу астрономии.

Разразившаяся вторая мировая война привела к стремительному росту радиотехники. Радиолокаторы были приняты на вооружение всех армий. Их совершенствовались, всячески стремились повысить чувствительность, вовсе не предполагая, конечно, использовать радиолокаторы для исследования небесных тел.

Советские ученые академики Л. И. Мандельштам и Н. Д. Папалекси теоретически обосновали возможность радиолокации Луны еще в 1943 году.

Это было первое радиоастрономическое исследование в Советском Союзе. Два года спустя (в 1946 году) оно было проверено на практике сначала в США, а затем в Венгрии. Радиоволны, посланные человеком, достигли Луны и, отразившись от нее, вернулись на Землю, где были уловлены чувствительным радиоприемником.

Последующие десятилетия — это период необыкновенно быстрого прогресса радиоастрономии. Его можно назвать триумфальным, так как ежегодно радиоволны приносят из космоса удивительные сведения о природе небесных тел.

Радиоастрономия использует сейчас самые чувствительные приемные устройства и самые большие антенные системы. Радиотелескопы проникли в такие глубины космоса, которые пока остаются недостижимыми для обычных оптических телескопов. Радиоастрономия стала неотъемлемой частью современного естествознания. Перед человечеством раскрылся радиокосмос — картина Вселенной в радиоволнах.

Каждая наука изучает определенные явления природы, используя свои методы и средства. Для радиоастрономии объектом изучения служит весь необъятный космос, все бесчисленное множество небесных тел. Правда, это изучение несколько одностороннее — оно ведется лишь посредством радиоволн. Но и в таком «разрезе» Вселенная оказывается бесконечно многообразной, неисчерпаемой для исследователя.

Мы живем в мире волн. Любое тело, будь то книга, ваше тело или звезда, излучает энергию в форме электромагнитных волн. Человеческий глаз чувствителен далеко не ко всем из них. Лишь ничтожная доля электромагнитных волн, попадая на сетчатку глаза, вызывает ощущение света. Но и этой доли оказывается достаточно, чтобы наполнить земной шар сиянием солнечного света и гаммой всевозможных красок. Быть может, наша ограниченность в восприятии электромагнитных волн есть благодетельная забота о нас самой природы. Ведь если бы человек воспринимал все излучения, существующие в природе, не был ли бы он подавлен их бесконечным многообразием?

Как бы там ни было, но человеческому глазу доступны лишь те электромагнитные волны, длина которых заключена в пределах от 400 до 760 миллимикрон. Разлагая трехгранной стеклянной призмой белый солнечный луч на составные части, мы получаем спектр — радужную полоску, в которой представлены все цвета, доступные глазу.

Хорошо известно, что по обе стороны видимого спектра располагаются области невидимых излучений. Таковы ультрафиолетовые лучи с длиной волны меньше 400 миллимикрон. Они обнаруживают свое существование по-разному. В жаркий солнечный день некоторые из них вызывают загар на нашей коже. Те же лучи сильно воздействуют на эмульсию обычных фотопластинок, оставляя на ней хорошо видимые следы. К ультрафиолетовым лучам примыкают рентгеновы лучи, широко используемые в медицине. Наиболее коротковолновые из известных излучений, так называемые гамма-лучи, выделяются при радиоактивном распаде. Их энергия весьма велика и они очень опасны — мощное гамма-излучение может породить мучительные явления лучевой болезни.

За красной границей видимого спектра лежит область невидимых инфракрасных лучей. Некоторые из них, с длиной волны значительно меньше одного сантиметра, способны заметно нагреть наше тело, и потому их иногда называют тепловыми лучами. Когда вы подносите руку к раскаленному утюгу и на каком-то расстоянии чувствуете его тепло, в этот момент ваша

рука подвергается действию именно этих инфракрасных, «тепловых» лучей.

За инфракрасными лучами следуют радиоволны. Их длины измеряются миллиметрами, сантиметрами, дециметрами и метрами.

Несмотря на количественные и качественные различия, перечисленные излучения — от гамма-лучей до радиоволн — обладают одним общим свойством: все они имеют общую природу, являясь электромагнитными волнами.

Благодаря общности природы всем электромагнитным волнам свойственны, например, такие процессы, как одинаковая скорость распространения, отражение и преломление, поглощение и рассеяние. Радиоволны, как и лучи видимого света, могут складываться друг с другом, то есть, говоря языком физики, интерферировать. В некоторых случаях можно наблюдать дифракцию радиоволн, или «огибание» ими предметов, размеры которых сравнимы с их длиной.

Замечательно, что всякое нагретое тело излучает электромагнитные волны всевозможных длин. Отложив по горизонтальной оси графика длины волн, а по вертикальной оси величины, характеризующие интенсивность излучения, то есть излучаемой энергии для данной длины волны, можно получить, как говорят физики, распределение энергии по спектру данного тела.

Для Солнца максимум кривой распределения энергии по спектру лежит в области желтых лучей. И действительно, удаленное от Земли на расстояние звезд наше Солнце казалось бы желтенькой звездочкой. Желтый цвет Солнца обычно не заметен только из-за ослепительной яркости дневного светила.

В области инфракрасных лучей кривая распределения энергии по спектру постепенно приближается к горизонтальной оси, теоретически говоря, нигде ее не пересекая. Это значит, что всякое нагретое тело в какой-то степени излучает и радиоволны. Договоримся излучение радиоволн, вызванное нагретостью тела, называть тепловым радиоизлучением.

Как видите, радиоволны далеко не всегда имеют искусственное происхождение. Скорее наоборот — естественных радиостанций несравненно больше, чем тех, которые созданы руками человека. Строго говоря,

любое тело может рассматриваться как естественная радиостанция, пусть ничтожной мощности.

Вам, конечно, случалось наблюдать досадные помехи на экране телевизора. Где-то рядом проезжает троллейбус или автобус, и сразу изображение портится — по экрану бегут какие-то белые полосы. И в этом случае виновник — естественные радиоволны. Их породили искровые разряды на концах токоприемников троллейбуса или в щетках генератора автомашины. «Непрошенные» радиоволны вмешались в передачу, испортили настройку телевизора и вызвали помехи.

Каждая электрическая искра — это естественная «радиостанция».

Электрические разряды всегда порождают радиоволны. Как известно, первый радиоприемник А. С. Попова был «грозоотметчиком» — он улавливал радиоволны, порождаемые молнией.

Есть, однако, существенное отличие радиоволн, излучаемых электрической искрой и радиоизлучением, например, нагретого утюга.

Радиоизлучение искры вызвано не только нагревостью раскаленного воздуха, но и другими, более сложными процессами. В таких случаях говорят о нетепловом радиоизлучении. Как мы увидим в дальнейшем, нетепловое радиоизлучение может возникнуть, например, при торможении сверхбыстрых электронов под действием магнитных сил.

Казалось бы, обилие всевозможных радиоизлучений позволяет изучать Вселенную в любом диапазоне радиоволн. Но, к сожалению, этому препятствует атмосфера.

Прозрачна ли атмосфера?

Трудно поверить, что воздух почти непрозрачен, что до наших глаз доходит лишь ничтожная доля всех излучений, существующих в природе.

Взгляните на рисунок 38. Он иллюстрирует прозрачность земной атмосферы для электромагнитных волн различных длин. Гладкая горизонтальная часть кривой, совпадающая с горизонтальной осью графика, отмечает те излучения, для которых земная атмосфера

совершенно непрозрачна. Два «горба» кривой, один узкий, другой более широкий, соответствуют двум «окнам прозрачности» в земной атмосфере.

Левое из них лежит в основном в области видимых лучей — от ультрафиолетовых до инфракрасных. К сожалению, атмосфера Земли совершенно непрозрачна для лучей, длина волны которых меньше 290 миллимикрон. Между тем в далеких ультрафиолетовых областях спектра расположены спектральные линии многих химических элементов. Мы их не видим, и поэтому наши сведения о химическом составе небесных тел далеко не полны.

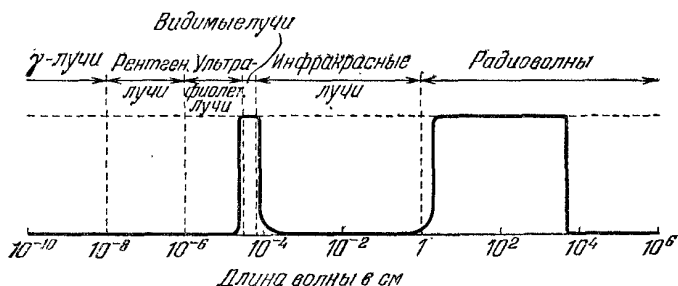


Рис. 38. Прозрачность земной атмосферы.

В последнее время астрономы пытаются вырваться за границы воздушной оболочки Земли и увидеть космос, так сказать, в «чистом виде». И это им удается. Высотные ракеты и воздушные шары выносят спектрографы и другие приборы в верхние, весьма разреженные слои атмосферы, и там автоматически фотографируется спектр Солнца.

Начато изучение этим способом и других астрономических объектов.

Другой край «оптического окна» атмосферы упирается в область спектра с длиной волны около микрона. Инфракрасные лучи с большей длиной волны сильно поглощаются главным образом водяными парами земной атмосферы.

Много тысячелетий астрономы изучали Вселенную только через одно узкое «оптическое окно» атмосферы.

Они не подозревали, что есть еще другое «окно», гораздо более широкое. Оно лежит в области радиоволн.

Левый край «радиоокна» отмечен ультракороткими радиоволнами длиной 1,25 см, правый край — радиоволнами длиной около 30 м.

Радиоволны, длина которых меньше 1,25 см (кроме волн с длиной около 8 мм), поглощаются молекулами кислорода и водяных паров. От них есть непрерывный переход к тем электромагнитным волнам, которые мы называем инфракрасными.

Радиоволны, длина которых больше 30 м, поглощаются особым верхним слоем атмосферы, носящим наименование ионосферы. Как показывает само название, ионосфера состоит из ионизованных газов, то есть таких газов, атомы которых лишены части своих электронов (которые также входят в ионосферу).

Для некоторых радиоволн слой ионизованного газа подобен зеркалу — радиоволны отражаются от него как солнечный луч от поверхности воды. Поэтому приходящие на Землю из космоса радиоволны с длиной волны больше 30 м почти полностью отражаются от ионосферы. Для них Земля является «блестящим шариком» (как для солнечных лучей блестящий игрушечный елочный шар), и пробить ионосферу они не в состоянии.

«Радиоокно» гораздо шире «оптического окна». На рисунке 38 по горизонтальной оси отложена так называемая логарифмическая шкала длин, то есть единицы масштаба вдоль этой оси есть единицы степени числа 10. Если же иметь дело с числами, а не с их логарифмами, то ширина «радиоокна» (около 30 м) получится почти в десять миллионов раз больше ширины «оптического окна». Таким образом, «оптическое окно» скорее следует считать чрезвычайно узкой щелью, и можно только удивляться, что исследуя Вселенную через такую «щель», мы знаем о ней очень многое.

Естественно ожидать, что широко распахнутое в космос «радиоокно» покажет нам Вселенную еще более многообразной и сложной.

Если излучение небесного тела по длине волны подходит для «радиоокна», оно практически беспре-

пятственно достигает земной поверхности, и задача астрономов состоит в том, чтобы уловить и исследовать каким-то способом это излучение.

Для этого и созданы радиотелескопы.

Радиотелескопы и рефлекторы

Вспомним, как устроен телескоп-рефлектор. Лучи, посылаемые небесным телом, падают на вогнутое параболическое зеркало и, отражаясь от его поверхности, собираются в фокусе рефлектора. Здесь получается изображение небесного тела, которое рассматривается через сильную лупу — окуляр телескопа. Маленькое второе зеркало, отражающее лучи в сторону окуляра, имеет чисто конструктивное, а не принципиальное значение.

Роль главного зеркала здесь достаточно ясна. Оно создает изображение небесного тела, и это изображение будет наилучшим в том случае, когда небесное тело находится на продолжении оптической оси телескопа. Говоря проще, телескоп в таком случае направлен прямо на наблюдаемый объект.

Приемником излучения в телескопе-рефлекторе служит человеческий глаз или фотопластинка. Чтобы увеличить угол зрения и подробно рассмотреть изображение светила, приходится пользоваться промежуточным устройством — окуляром.

Итак, в телескопе-рефлекторе есть собиратель излучения — параболическое зеркало и приемник излучения — глаз наблюдателя или фотопластинка.

По такой же схеме устроен, в сущности, и простейший радиотелескоп (рис. 39). В нем космические радиоволны собирает металлическое зеркало, иногда сплошное, а иногда решетчатое.

Форма зеркала радиотелескопа, как и в рефлекторе, параболическая. Конечно, и здесь сходство не случайное — только параболическая (или, точнее, параболоидная) поверхность способна собрать в фокусе падающее на нее электромагнитное излучение.

Если бы глаз мог воспринимать радиоволны, устройство радиотелескопа могло бы быть неотличимым от устройства телескопа-рефлектора. На самом деле

приемником радиоволн в радиотелескопах служит не человеческий глаз или фотопластинка, а высокочувствительный радиоприемник.

Зеркало концентрирует радиоволны на маленькой дипольной антенне, облучая ее. Вот почему эта антенна в радиотелескопах получила название облучателя.

Радиоволны, как и всякое излучение, несут в себе некоторую энергию. Поэтому, падая на облучатель, они возбуждают в этом металлическом проводнике упорядоченное перемещение электронов, иначе говоря, электрический ток. Радиоволны с невообразимо

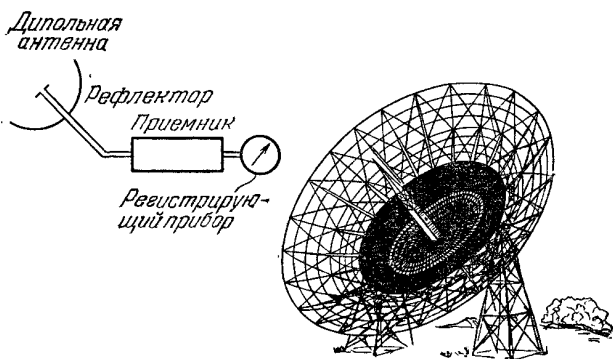


Рис. 39. Схема устройства радиотелескопа.

большой скоростью «набегают» на облучатель. Поэтому в облучателе возникают быстропеременные электрические токи.

Теперь эти токи надо передать на приемное устройство и исследовать. От облучателя к радиоприемнику электрические токи передаются по волноводам — специальным проводникам, имеющим форму полых трубок. Форма сечений волноводов и их размеры могут быть различными.

Космические радиоволны или, точнее, возбужденные ими электрические токи поступили в радиоприемник. Можно было бы, пожалуй, подключив к приемнику репродуктор, послушать «голоса звезд». Но так обычно не делают. Голоса небесных тел лишены всякой музыкальности — не чарующие «небесные ме-

лодии», а режущие наш слух шипение и свист слышались бы из репродуктора.

Астрономы поступают иначе. К приемнику радиотелескопа они присоединяют специальный самопишущий прибор, который регистрирует поток радиоволн определенной длины.

Два типа установок есть не только у рефлекторов, но и у радиотелескопов. Одни из них могут двигаться только вокруг вертикальной и горизонтальной осей. Другие снабжены параллактической установкой — таких, правда, пока меньшинство. Установки радиотелескопов имеют очень важное назначение: как можно точнее нацелить зеркало на объект и сохранить такую ориентировку во время наблюдений.

Есть между радиотелескопами и рефлекторами и большие различия. Столь большие, что забывать о них нельзя. Прежде всего, размеры собирателей излучений — зеркал. Самый большой из существующих телескопов-рефлекторов — советский 6-метровый инструмент Специальной астрофизической обсерватории АН СССР. Зеркала радиотелескопов значительно больше. У рядовых из них они измеряются метрами, а один из самых больших *подвижных* действующих радиотелескопов имеет зеркало поперечником 76 м. До последнего времени крупнейшим радиотелескопом был радиотелескоп в Аресибо (Пуэрто-Рико). Неподвижное зеркало этого телескопа имеет диаметр 300 м и вмонтировано в кратер одного из бездействующих вулканов. Этот инструмент может работать и как радиолокатор, причем радиосигналы от него могут быть уловлены (на уровне земной радиотехники) в пределах всей нашей Галактики.

В той же Специальной астрофизической обсерватории АН СССР недавно вступил в строй 600-метровый советский радиотелескоп. В отличие от радиотелескопа в Пуэрто-Рико, главная часть нашего радиотелескопа представляет собой не сплошное металлическое вогнутое зеркало, а кольцо диаметром 600 м, состоящее из 895 подвижных алюминиевых отражателей, каждый из которых имеет размеры $2 \times 7,5$ м. Этот крупнейший в мире радиотелескоп рассчитан на прием радиоволн с длиной волны от 8 мм до 30 см. По ряду параметров (в частности, по

разрешающей способности) этот инструмент не имеет себе равных в мире. В недалеком времени будут построены еще бóльшие радиотелескопы, тогда как рефлекторы с поперечником зеркала в 10 м вряд ли удастся создать в ближайшие двадцать-тридцать лет. В чем же причина столь существенного различия?

Секрет прост. Изготовить зеркало телескопа-рефлектора в техническом отношении несравненно труднее, чем гораздо большее по размерам зеркало радиотелескопа.

Для того чтобы параболическое зеркало давало в своем фокусе достаточно резкое, четкое изображение небесного объекта (неважно, в видимых или невидимых лучах), поверхность зеркала не должна уклоняться от идеальной геометрической поверхности более чем на $\frac{1}{10}$ длины волны собираемого излучения. Такой «допуск» верен как для видимых лучей света, так и для радиоволн. Но для радиоволн $\frac{1}{10}$ длины волны измеряется миллиметрами, а то и сантиметрами, тогда как для лучей видимого света этот допуск ничтожно мал — сотые доли микрона! Как видите, важны не абсолютные размеры шероховатости зеркал, а их отношение к длине волны собираемого излучения.

О том, как трудно создать крупный рефлектор, мы уже говорили. Радиотелескоп с поперечником в десятки метров построить легче. Ведь если даже этот телескоп будет принимать радиоволны с длиной 1,25 см, то шероховатости зеркала не должны по размерам превышать 1 мм — допуск, вполне технически осуществимый.

В некоторых радиотелескопах, рассчитанных на прием радиоволн с длиной, измеряемой многими метрами, зеркала делаются не сплошными, а сетчатыми. Этим значительно уменьшается вес инструмента, и в то же время, если размеры ячеек малы в сравнении с длиной радиоволн, решетчатое зеркало действует как сплошное. Иначе говоря, для радиоволн отверстия в зеркале радиотелескопа, в сущности, являются неощутимыми «неровностями».

Подчеркнем одну замечательную особенность описываемых радиотелескопов — они могут работать на различных длинах волн. Ведь очевидно, что свойство

параболических зеркал концентрировать излучение в фокусе не зависит от длины волны этого излучения. Поэтому, меняя облучатель, то есть приемную антенну, можно «настраивать» радиотелескоп на желаемую длину волн. При этом, конечно, требуется изменить частоту радиоприемника.

Чем больше размеры зеркала, тем больше излучения оно собирает. Количество собираемого излучения, очевидно, пропорционально площади зеркала. Значит, чем больше зеркало, тем чувствительнее телескоп, тем более слабые источники излучения удастся наблюдать — ведется ли прием на радиоволнах или в лучах видимого света.

Замечательно, что радиотелескопы можно устанавливать в любом пункте страны. Ведь они совсем не зависят от капризов погоды или прозрачности атмосферы. С помощью радиотелескопов можно исследовать Вселенную хоть в проливной дождь!

Борьба с помехами

Нелегко создать сплошное металлическое зеркало поперечником в несколько десятков метров, да еще установить так, чтобы, перемещая зеркало с удивительной плавностью, его можно было нацелить на любой участок неба. Каждое такое творение рук человеческих есть поистине чудо современной техники.

Иногда зеркало радиотелескопа, как уже говорилось, делают очень большим, но неподвижным. При высокой чувствительности подобный радиотелескоп ограничен в своих возможностях — он всегда направлен на одну и ту же точку неба.

Впрочем, и неподвижный телескоп все-таки движется — ведь он находится на поверхности Земли, а земной шар непрерывно и равномерно вращается вокруг своей воображаемой оси. Поэтому в поле зрения неподвижного радиотелескопа постоянно появляются все новые и новые небесные тела, причем наблюдению становится доступным довольно широкий круговой пояс неба. Разумеется, через сутки, когда Земля завершит полный оборот, картины в поле зрения радиотелескопа снова начнут повторяться.

Нечто подобное, как помнит читатель, было и в истории оптической астрономии. В погоне за все более и более крупными рефлекторами астрономы создали наконец таких исполинов, что постоянно перемещать их оказалось технически невозможным. Тогда их укрепляли неподвижно или в лучшем случае создавали устройство, позволяющее рефлектору перемещаться только в вертикальной плоскости. Примером такого неуклюжего исполнца может служить знаменитый рефлектор лорда Росса, названный им Левиафаном.

Уж раз речь пошла о трудностях, нельзя умолчать и о помехах, мешающих радионаблюдениям.

Радиоприемники, присоединенные к антенне радиотелескопа, очень чувствительны. Если, например, к ним просто подключить какой-нибудь проводник, то приемник станет реагировать на беспорядочные тепловые движения электронов в этом проводнике. Яснее говоря, тепловое движение электронов вызывает на концах проводника беспорядочно меняющиеся напряжения, кстати сказать, пропорциональные температуре проводника. В приемнике эти процессы приобретут характер «шумов».

Хотя мощность таких помех от антенного устройства ничтожно мала, они все же, как это ни обидно, подчас в десятки, а иногда и в сотни раз превосходят мощность космического радиоизлучения. Мешают также и шумы, возникающие в самом радиоприемнике при работе его электронных ламп.

Шумы, порожденные аппаратурой, как бы маскируются под космическое радиоизлучение. Они похожи друг на друга и усиливаются в приемнике одновременно. Этим обстоятельством ограничивается чувствительность современных радиотелескопов. Однако с помощью большого усложнения аппаратуры удастся зарегистрировать сигналы в сто раз более слабые, чем шумы аппаратуры.

При изучении слабых источников космических радиоволн применяют различные довольно сложные и хитроумные методы и устройства, позволяющие уловить неуловимое. И здесь победа остается в конце концов за человеком. Рост техники радиоастрономических исследований происходит очень бурно, и с каж-

дым годом радиотелескопы становятся все более и более чувствительными.

Впрочем, уже и сейчас чувствительность радиотелескопов вызывает удивление. Если сравнить энергию излучения, воспринимаемую самыми лучшими из современных радиотелескопов, с энергией видимого света, посылаемого звездами, то окажется, что радиотелескопы в сотни раз чувствительнее гигантских телескопов-рефлекторов. Среди всевозможных приемников электромагнитных волн радиотелескопы не имеют себе равных.

О зоркости радиотелескопов

Благодаря сложным оптическим явлениям лучи от звезды, уловленные телескопом, сходятся не в одной точке (фокусе телескопа), а в некоторой небольшой области пространства вблизи фокуса, образуя так называемое фокальное пятно. В этом пятне объектив телескопа конденсирует электромагнитную энергию светила, уловленную телескопом. Если взглянуть в телескоп, звезда покажется нам не точкой, а кружочком с заметным диаметром. Но это не настоящий диск звезды, а лишь ее испорченное изображение, вызванное несовершенством телескопа. Мы видим созданное телескопом фокальное пятно.

Чем больше диаметр объектива телескопа, тем меньше фокальное пятно. Следовательно, большие телескопы обладают и большей «зоркостью». Но последняя зависит еще и от длины волны принимаемого излучения.

Чем меньше длина волны, тем меньше и размеры фокального пятна.

С величиной фокального пятна тесно связана разрешающая способность телескопов. Так называют наименьшее угловое расстояние между двумя источниками излучения, которые данный телескоп дает возможность различить в отдельности. Если, например, в двойной звезде обе звезды так близки на небе друг к другу, что их изображения, создаваемые телескопом, попадают практически внутрь одного фокального пятна, двойная звезда покажется в телескоп одиночной.

Оптические телескопы обладают весьма большой разрешающей способностью. В настоящее время наилучшие из оптических телескопов способны «разделить» двойные звезды с расстоянием между составляющими в 0,1 секунды дуги! Под таким углом виден человеческий волос на расстоянии 30 м.

Радиотелескопы воспринимают весьма длинноволновое излучение. Поэтому фокальное пятно в радиотелескопах огромно. И соответственно разрешающая способность этих инструментов весьма низка. Оказывается, например, что радиотелескоп с диаметром зеркала 5 м при длине радиоизлучения 1 м способен разделить источники излучения, если они отстоят друг от друга больше чем на десять градусов!

Десять градусов — это двадцать видимых поперечников Луны. Значит, указанный радиотелескоп не способен «разглядеть» в отдельности такие мелкие для него небесные светила, как Солнце или Луна.

Ясно, что низкая разрешающая способность обычных небольших радиотелескопов — большой недостаток; даже при огромных размерах зеркала она, как правило, уступает разрешающей силе человеческого глаза (не говоря уже об оптических телескопах). Как же можно устранить это препятствие?

Физикам уже давным-давно известно явление сложения волн, названное ими интерференцией. В школьном учебнике физики подробно описано, какое значение имеет интерференция на практике. Оказывается, интерференцию можно использовать в радиоастрономии.

Вообразим, что одновременно из двух источников распространяются две волны. Если они, как говорят физики, находятся в противоположных фазах, то есть «горб» одной приходится как раз против «впадины» другой, обе волны «погасят» друг друга, и колебания среды прекратятся. Если это световые волны — наступит тьма, если звуковые — тишина, если волны на воде — полный покой.

Может случиться, что волны находятся в одинаковых фазах («горб» одной волны совпадает с «горбом» другой). Тогда такие волны усиливают друг друга, и колебания среды будут совершаться с удвоенной интенсивностью.

Представим себе теперь устройство, называемое радиоинтерферометром (рис. 40). Это два одинаковых радиотелескопа, разделенных расстоянием (базой) и соединенных между собой электрическим кабелем, к середине которого присоединен радиоприемник. От источника радиоизлучения на оба радиотелескопа непрерывно приходят радиоволны. Однако тем из них,

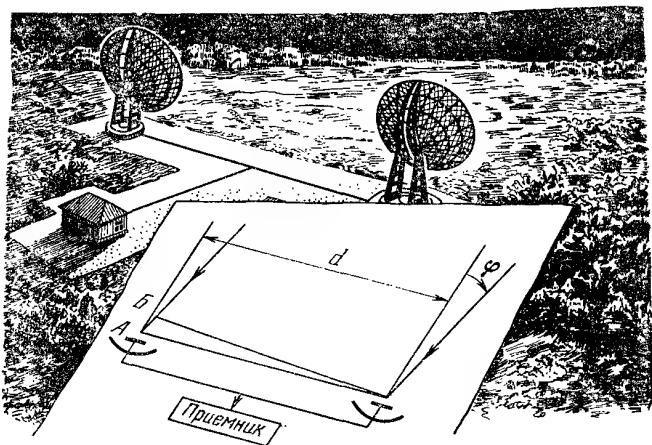


Рис. 40. Схема радиоинтерферометра (d — его база, т. е. расстояние между радиотелескопами, угол φ характеризует направление на источник радиоволн).

которые попадают на левое зеркало, приходится проделать несколько больший путь, чем радиоволнам, уловленным правым радиотелескопом. Разница в путях, называемая разностью хода, равна отрезку AB . Нетрудно сообразить, что если в этом отрезке укладывается четное число полуволн улавливаемого радиоизлучения, то «левые» и «правые» радиоволны придут в приемник с одинаковой фазой и усилят друг друга. При нечетном числе полуволн произойдет обратное — взаимное гашение радиоволн, и в приемник радиосигналы вовсе не поступят.

Обратите внимание: при изменении направления на источник излучения меняется и разность хода.

Достаточно при этом (что очень важно!) лишь весьма незначительное изменение угла φ , чтобы «гашение» волн сменилось их усилением или наоборот, на что сразу же отзовется весьма чувствительный радиоприемник.

Радиоинтерферометры делают, как правило, неподвижными. Но ведь Земля вращается вокруг своей оси, и поэтому положение светил на небе непрерывно меняется. Следовательно, в радиоинтерферометре постоянно будут наблюдаться периодические усиления и ослабления радиопередачи от наблюдаемого источника космических радиоволн.

Радиоинтерферометры гораздо «зорче» обычных радиотелескопов, так как они реагируют на очень малые угловые смещения светила, а значит, и позволяют исследовать объекты с небольшими угловыми размерами. Иногда радиоинтерферометры состоят не из двух, а из нескольких радиотелескопов. При этом разрешающая способность радиоинтерферометра существенно увеличивается. Есть и другие технические устройства, которые позволяют современным «радиоглазам» астрономов стать очень «зоркими», гораздо более зоркими, чем невооруженный человеческий глаз!

В феврале 1976 года советские и американские ученые осуществили интересный эксперимент — радиотелескопы Крымской и Хайсптекской (США) обсерваторий в этом опыте играли роль «глаз» исполнинского радиоинтерферометра, а расстояние во много тысяч километров между этими обсерваториями было его базой. Так как база была очень велика и космические радиообъекты наблюдались с разных континентов, достигнутая разрешающая способность оказалась поистине фантастической — одна десятитысячная доля секунды дуги! Под таким углом виден с Земли на Луне след от ноги космонавта! Позже к этим экспериментам присоединились и австралийские ученые, так что астрономы «взглянули» на космические радиоисточники сразу с трех континентов. Результаты оправдали затраченные усилия: в ядрах галактик и квазарах обнаружены взрывные процессы необычайной активности, причем в ряде случаев наблюдаемая скорость разлета космических облаков в квазарах, по-видимому, превосходит скорость света!

Таким образом, новая техника поставила перед наукой и новые проблемы принципиального характера. Достигнутая ныне разрешающая способность радиointерферометров — это еще не предел. В будущем, вероятно, радиотелескопы станут еще зорче.

Кстати сказать, и в оптической астрономии используют интерферометры. Их присоединяют к крупным телескопам, чтобы измерить реальные поперечники звезд. В обоих случаях интерферометры играют роль своеобразных «очков», позволяющих рассмотреть важные подробности в окружающей нас Вселенной.

Но оптические интерферометры по зоркости значительно уступают тем, которые употребляются ныне в радиоастрономии.

«Радиоэхо» в астрономии

До сих пор речь шла о пассивном изучении космических радиоволн. Они улавливаются радиотелескопами, и задача астронома заключается лишь в том, чтобы наилучшим образом расшифровать эти сигналы, получить с их помощью как можно больше сведений о небесных телах. При этом исследователь никак не вмешивается в ход изучаемого им явления — он лишь пассивно наблюдает.

Та отрасль радиоастрономии, с которой мы теперь кратко познакомимся, имеет иной, если так можно выразиться, активный характер. Ее называют радиолокационной астрономией.

Слово «локация» означает определение местоположения какого-нибудь предмета. Если, например, для этого используется звук, то говорят о звуковой локации. Ею, как известно, широко пользуются современные мореплаватели. Особое устройство, называемое эхолотом, посылает в направлении ко дну океана короткие, но мощные неслышимые ультразвуки. Отразившись от дна, они возвращаются, и эхолот фиксирует время, затраченное звуком на путешествие до дна и обратно. Зная скорость распространения звука в воде, легко подсчитать глубину океана.

Подобным же образом можно измерить и глубину колодца или какого-нибудь ущелья. Громко крикнув,

ждите затем, когда до вашего уха донесется эхо — отраженный звук. Учтя, что скорость звука в воздухе равна 337 м/сек, легко вычислить искомое расстояние. Любопытно, что звуковая локация встречается и в мире животных. Летучая мышь обладает специальным естественным локационным органом, который, испуская неслышимые звуки, помогает мыши ориентироваться в полете. Забавно, что эти ультразвуки поглощаются в толстом слое волос, и поэтому, не получив обратно звукового эха, летучая мышь воспринимает голову с густой шевелюрой как «пустое место». Этим и объясняется, что летучая мышь иногда в темноте ударяется о головы людей, не прикрытые головным убором.

Когда говорят о «радиолокации», то под этим словом подразумевают определение местоположения предмета с помощью радиоволн.

Радиолокационная астрономия — еще совсем молодая отрасль науки. Систематические радиолокационные наблюдения небесных тел начались всего тридцать лет назад. И все же достигнутые успехи весьма значительны. Очень интересны и дальнейшие перспективы этого активного метода изучения небесных тел. «Активного» потому, что здесь человек сам направляет в космос созданные им искусственные радиоволны и, наблюдая их отражение, может затем по собственному желанию видоизменить эксперимент.

Образно говоря, в радиолокационной астрономии человек «дотрагивается» до небесных тел созданным им радиолучом, а не пассивно наблюдает их радиозлучение.

Как устроен радиолокатор

Вам теперь должен быть ясен основной принцип радиолокации. От мощного радиопередатчика посылается радиоволна. Со скоростью света (300 000 км/сек) она достигает цели и, отразившись от нее, возвращается назад. Здесь ее надо поймать и исследовать, а для этого необходим приемник очень высокой чувствительности, так как отраженный ра-

диосигнал (как и всякое эхо) гораздо слабее посылаемого.

Такова принципиальная схема радиолокации. На практике же радиолокаторы — устройства, с помощью которых осуществляют радиолокацию, — довольно сложны (рис. 41).

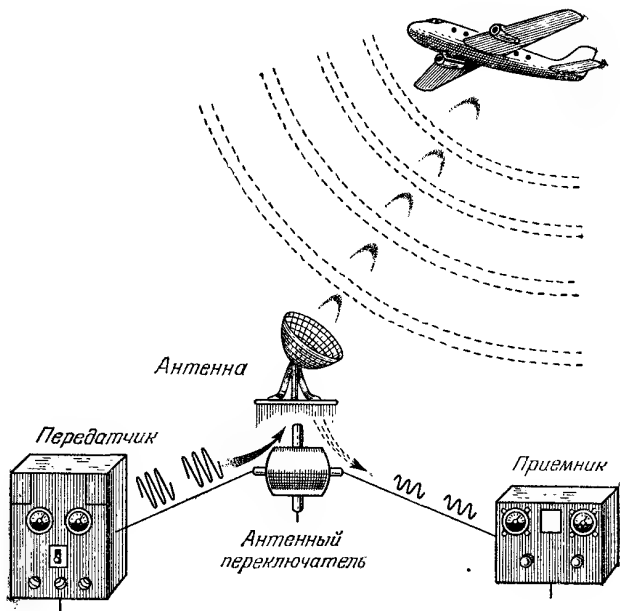


Рис. 41. Схема радиолокатора.

От передатчика быстропеременные электрические токи поступают на передающую антенну радиолокатора. Она напоминает облучатель радиотелескопа. Ее также помещают в фокус металлического параболического зеркала, и делается это для того, чтобы радиоволны посылались радиолокаторами не во все стороны, а по определенному направлению параллельным пучком. Тем самым излучаемые радиолокатором радиоволны не «разбрасываются» во все стороны, а концентрируются на одной определенной цели.

Радиолокатор — это как бы радиотелескоп «наизнанку». В радиотелескопах параболическое зеркало улавливало космические радиоволны и направляло их на облучатель. В радиолокаторе, наоборот, облучатель, или, правильнее сказать, излучатель, излучает радиоволны, которые зеркало направляет на определенный предмет.

Между радиолокатором и обыкновенным прожектором есть несомненное сходство. Блестящее зеркало прожектора также имеет параболическую форму. Благодаря ему потоки света от электрической дуги (излучателя) преобразуются в направленный прожекторный луч. Допустим, что «шаря» прожектором по небу, мы неожиданно осветили незнакомый самолет. Если бы можно было узнать, сколько времени затратил луч света, чтобы дойти до самолета, а затем вернуться к прожектору, можно было бы, очевидно, узнать расстояние до самолета. Но прожектор — это не «световой» локатор. В нем нет устройств, которые бы решали задачу. Прожектор предназначен только для освещения, а не для локации.

Другое дело радиолокатор. В его состав входит не только передатчик, но и приемник, снабженный дополнительным измерительным устройством, называемым индикатором. Поэтому радиолокатор не только посылает радиоволны, но и принимает вернувшийся отраженный радиосигнал. В этот момент он действует как обычный радиотелескоп.

Если бы радиолокатор посылал радиоволны непрерывно, то он, естественно, не мог бы улавливать «радиоэхо». Такое одновременное совмещение двух функций, конечно, невозможно. Поэтому радиолокатор работает иначе. Подражая человеку, который, крикнув, ждет, чтобы услышать эхо, радиолокатор сначала посылает радиосигнал, а затем, превращаясь в радиотелескоп, ловит радиоэхо.

Радиосигналы, посылаемые радиолокатором, представляют собой кратковременные, но очень мощные импульсы радиоволн. Их вырабатывает специальное устройство, называемое генератором импульсов. В моменты действия передатчика радиолокатор по мощности сравним с мощностью крупнейших радиовещательных станций.

Как только импульс послан, антенный переключатель выключает передатчик и одновременно включает приемник. Теперь радиолокатор «слушает», стараясь уловить слабое радиоэхо. Но вот оно поймано, и снова антенный переключатель вводит в действие передатчик. Так повторяется много раз, причем паузы между импульсами по продолжительности в сотни раз длительнее импульсов. В общей сложности обычный радиолокатор в течение часа только несколько секунд посылает радиосигналы, а остальное время молчит, принимая радиоэхо.

Радиоволны столь же быстры, как и лучи света. Поэтому, посланные радиолокатором, они достигают земных целей через ничтожные доли секунды. Вот почему в современных радиолокаторах продолжительность радиоимпульсов невообразимо мала — миллионные доли секунды. Такими сверхкороткими, но зато очень мощными «очередями» и «стреляют» радиолокаторы.

Несмотря на исключительную кратковременность процессов, протекающих в радиолокаторе, его индикатор способен точно измерить промежутки времени в ничтожные доли секунды. На экране, несколько напоминающем экран телевизора, с помощью специальной шкалы наблюдатель непосредственно видит, чему равно расстояние до цели. В современных радиолокаторах есть и другое сложное устройство, позволяющее на экране видеть цель и окружающую ее обстановку.

В устройстве радиолокаторов и радиотелескопов есть много сходного. Неудивительно поэтому, что многие из современных радиотелескопов, в том числе и крупнейший в мире подвижной радиотелескоп обсерватории Джодрелл Бэнк, одновременно являются и радиолокаторами. Явление отражения радиоволн, то есть радиоэхо, было известно еще на заре радиотехники. Но только в годы второй мировой войны оно было использовано как одно из весьма действенных средств обороны.

Кончилась война, и мощные радиолокационные средства стали использовать не только для нужд обороны, но и для исследования небесных тел. Уже первые опыты показали, что радиоэхо способно значительно помочь астрономам в изучении Вселенной.

Радиолокация Луны и планет

Еще в 1928 году, когда большинство радиолюбителей пользовались примитивными детекторными приемниками, советские ученые Л. И. Мандельштам и Н. Д. Папалекси рассматривали вопрос о посылке радиосигнала на Луну и приеме на Земле радиоэха. Тогда это была только смелая мечта, далеко опережавшая действительность. Но такова характерная черта больших ученых — их мысль опережает факты и видит то, что становится реальностью лишь в будущем.

В годы второй мировой войны Л. И. Мандельштам и Н. Д. Папалекси снова вернулись к занимавшей их идее. Теперь настали другие времена. Радиолокация прочно вошла в практику военной жизни, и радиолокаторы уверенно нащупывали невидимые цели.

Советские ученые на основе новых данных подсчитали, какова должна быть мощность радиолокатора и другие его качества, чтобы с его помощью можно было осуществить радиолокацию Луны. Научная ценность такого эксперимента была вне сомнений. Ведь до сих пор, чтобы определить расстояние до Луны, приходилось наблюдать ее положение среди звезд одновременно из двух достаточно удаленных друг от друга обсерваторий. Радиолокация решила бы ту же задачу при наблюдениях из одного пункта. Учитывая быстрый прогресс радиотехники, можно было ожидать, что радиолокационные измерения астрономических расстояний дадут результаты гораздо более точные, чем те, которые были получены в прошлом.

Трудности, однако, оказались огромными. Расчеты показали, что при прочих равных условиях мощность отраженного сигнала убывает обратно пропорционально четвертой степени расстояния до цели. Получалось, что лунный радиолокатор должен обладать примерно в тысячу раз большей чувствительностью, чем обычная радиолокационная станция береговой обороны, обнаруживавшая в те годы самолет неприятеля с расстояния в двести километров.

И все же проект казался довольно убедительным, и уверенность его авторов в успехе вскоре была оправдана фактами.

В начале 1946 года почти одновременно, но с различными установками, венгерские и американские радиофизики осуществили радиолокацию Луны.

На Луну посылались мощные импульсы радиоволн длиной 2,7 м. Каждый импульс имел продолжительность 0,25 секунды, причем пауза между импульсами составляла 4 секунды. Антенна радиолокатора была еще весьма несовершенна: она могла поворачиваться только вокруг вертикальной оси. Поэтому исследования велись лишь при восходе или заходе Луны, когда последняя находилась вблизи горизонта.

Приемное устройство радиолокатора уверенно зафиксировало слабый отраженный сигнал, лунное радиосигало.

Путь до Луны и обратно радиоволны совершили всего за 2,6 сек, что, впрочем, при их невообразимо большой скорости не должно вызывать удивления. Точность этого первого радиоизмерения из-за несовершенства аппаратуры была еще очень низка, но все же совпадение с известными ранее данными было весьма хорошее.

Позже радиолокация Луны была повторена на многих обсерваториях, и с каждым разом со все большей точностью и, конечно, с большей легкостью.

Большие возможности радиолокации обнаружались при наблюдении так называемой либрации Луны. Под этим термином астрономы понимают своеобразные «покачивания» лунного шара, вызванные отчасти геометрическими причинами (условиями видимости), отчасти причинами физического характера. Благодаря либрации земной наблюдатель видит не половину, а около 60% лунного шара. Значит, либрация позволяет нам иногда «заглядывать» за край видимого лунного диска и наблюдать пограничные районы обратной стороны Луны.

При «покачивании», или либрации, Луны один ее край приближается к наблюдателю, а другой удаляется. Скорость этого движения очень мала — порядка 1 м/сек, что меньше даже скорости пешехода. Но радиолокатор способен, оказывается, обнаружить и такие смещения.

Радиолокатор посылает на Луну волны определенной длины. Естественно, что и отраженный

радиосигнал будет обладать той же длиной волны. Можно сказать, что радиоспектр отраженного сигнала представляет собой одну определенную «радиолинию».

Если бы Луна не «покачивалась» относительно земного наблюдателя, радиоспектры посланного и отраженного импульса были бы совершенно одинаковы. На самом же деле разница, хотя и небольшая, все же есть. Радиоволна, отразившись от того края Луны, который приближается к земному наблюдателю, по принципу Доплера будет иметь несколько большую частоту и, следовательно, меньшую длину, чем радиоволна, посланная на Луну. Для другого, удаляющегося края Луны должен наблюдаться противоположный эффект. В результате «радиолиния» в радиоспектре отраженного импульса будет более широкой, растянутой, чем «радиолиния» посланного импульса. По величине расширения можно вычислить скорость удаления краев Луны. Этим же методом можно определять периоды вращения планет вокруг осей и скорости их движения по орбите.

Раньше требовались многолетние высокоточные оптические наблюдения Луны, чтобы затем после долгих вычислений получить величину либрации. Радиолокаторы решили эту задачу, так сказать, непосредственно и несравненно быстрее.

При каждом измерении пользуются некоторым эталоном — меркой, употребляемой как единица длины. Для измерений на земной поверхности таким основным эталоном длины служит метр. Для астрономических расстояний ни метр, ни даже километр не являются вполне подходящей единицей масштаба — слишком уж велики расстояния между небесными телами. Поэтому астрономы употребляют вместо метра гораздо более крупную единицу длины. Называется она «астрономической единицей» (сокращенно «а. е.»). По определению астрономическая единица равна среднему расстоянию от Земли до Солнца. Чтобы связать астрономические измерения длины с чисто земными мерками расстояний, астрономическую единицу в конечном счете сопоставляют с метром, то есть, проще говоря, выражают астрономическую единицу в метрах или километрах.

Во времена Иоганна Кеплера (XVII век) величину астрономической единицы еще не знали — она впервые была найдена только век спустя. Не были известны и расстояния от Солнца до других планет Солнечной системы. Тем не менее третий закон Кеплера гласит, что «квадраты времен обращения планет вокруг Солнца относятся между собой как кубы их средних расстояний до Солнца». Каким же образом, не зная расстояний планет до Солнца, Кеплер мог открыть этот важный закон?

Весь секрет, оказывается, в том, что, не зная абсолютных (выраженных в километрах) расстояний планет до Солнца, можно сравнительно просто из наблюдений вычислить их относительные расстояния, то есть узнать, во сколько раз одна планета дальше от Солнца, чем другая.

Зная же относительные расстояния планет от Солнца, можно сделать чертеж Солнечной системы. В нем не будет хватать только одного — масштаба. Если бы можно было указать, чему равно расстояние в километрах между любыми двумя телами на чертеже, то, очевидно, этим самым был бы введен масштаб чертежа, и в единицах данного масштаба сразу можно было бы получить расстояние всех планет до Солнца.

До применения радиолокации среднее расстояние от Земли до Солнца, то есть астрономическая единица, считалось равным 149 504 000 км. Эта величина измерена не абсолютно точно, а приближенно с ошибкой в 17 000 км в ту или другую сторону.

Кое-кого из читателей может ужаснуть эта ошибка. Может быть, даже они усомнятся, стоит ли называть астрономию точной наукой. Такие упреки, конечно, несправедливы. Точность измерения характеризуется не абсолютной величиной ошибки (или, как говорят, абсолютной ошибкой), а ее отношением к измеряемому расстоянию. С этой точки зрения расстояние от Земли до Солнца измерено очень точно — относительная ошибка не превышает сотых долей процента. Но постоянное стремление к повышению точности характерно для любой точной науки. Поэтому можно понять астрономов, когда они снова и снова уточняют масштаб Солнечной системы и

стремятся применить самые совершенные методы для измерения астрономической единицы. Вот тут-то и приходит на помощь радиоастрономия.

Совершенно очевидно, что радиолокация планет из-за их удаленности несравненно труднее радиолокации Луны. Не забудьте, что мощность радиоэха падает обратно пропорционально четвертой степени расстояния, то есть очень сильно. Но современная радиотехника преодолела и эти трудности.

В феврале 1958 года американскими учеными впервые проведена радиолокация ближайшей из планет — Венеры, а в сентябре того же года поймано радиоэхо от Солнца.

Во время радиолокации Венера находилась в 43 миллионах километров от Земли. Значит, радиоволне требовалось примерно 5 минут для путешествия «туда и обратно». Сигналы подавались в течение 4 минут 30 секунд, а следующие 5 минут «подслушивалось» радиоэхо. Длительная посылка радиосигналов была вызвана необходимостью — при коротком импульсе единичное отражение от Венеры не могло наблюдаться.

Даже с такими ухищрениями разобраться в принятых радиосигналах было нелегко. Крайне слабые, отраженные от Венеры радиоволны маскировались собственными шумами приемной аппаратуры. Только электронные вычислительные машины после почти годовой обработки наблюдений наконец доказали, что радиолокатор все-таки принял очень слабое радиоэхо от Венеры. После первого успеха радиолокация Венеры была повторена еще несколько раз.

Радиоэхо от Венеры получилось в 10 миллионов раз более слабым, чем радиоэхо от Луны. Но радиолокаторы его все-таки поймали — таков прогресс радиотехники за какие-нибудь двенадцать лет.

Гораздо более уверенно и с лучшими результатами провели радиолокацию Венеры в апреле 1961 года советские ученые. По их данным удалось уточнить величину астрономической единицы. Оказалось, что Солнце на 95 300 км дальше от Земли, чем думали до тех пор, и астрономическая единица равна 149 599 300 км. Ошибка в этом измерении не превышает 2000 км в ту или другую сторону, что по отношению к измеренному

расстоянию составляет всего лишь тысячные доли процента!

Теперь величину астрономической единицы знают еще точнее, что позволяет с меньшими ошибками вычислять траектории космических ракет, а это имеет большое значение для межпланетных путешествий.

Солнце для радиолокатора гораздо более крупная цель, чем Венера. Но зато Солнце — само мощный источник космических радиоволн. Чтобы эти радиоволны не «заглушили» радиоэхо, отраженный от Солнца радиосигнал должен быть по крайней мере в сто раз сильнее сигнала, отраженного от Венеры.

Радиолокация Солнца впервые проводилась так. Передатчик включался с интервалами в 30 секунд в продолжение 15 минут. Наблюдения начались в сентябре 1958 года и были продолжены весной 1959 года. При обработке также пришлось прибегнуть к помощи электронных вычислительных машин. В хорошем согласии с предварительными расчетами получилось, что радиосигнал, посланный с Земли, отразился от тех слоев солнечной короны, которые находятся на расстоянии 1,7 радиуса Солнца от его поверхности.

Еще в 1959 году радиолокация Меркурия показала, что сутки на этой планете близки к 59 земным суткам, то есть Меркурий не обращен всегда к Солнцу одной стороной, как считалось до этого. Радиолокаторы выяснили также, что сутки на Венере в 243 раза длиннее земных, причем Венера вращается в направлении с востока на запад, то есть в сторону, обратную вращению всех остальных планет.

Радиолуч сквозь облака Венеры «прощупал» ее рельеф и установил существование на Венере кратеров, подобных лунным. Радиолокация уточнила данные о рельефе Марса. Но самое, пожалуй, удивительное было достигнуто в метеорной астрономии.

Метеоры наблюдают днем

Звездная ночь. В невообразимой дали тихо сияют тысячи солнц. И вдруг как будто одна из звезд сорвалась и полетела, оставляя на небе узенькую светящуюся полоску. Все явление обычно занимает доли секунды, реже несколько секунд.

Так выглядят «падающие звезды», или метеоры,— явления, хорошо знакомые каждому еще с детских лет. Читателю, конечно, известно, что «падающие звезды» не имеют никакого отношения к настоящим звездам — далеким солнцам. Когда по небу пролетает «падающая звезда», это означает, что в земную атмосферу из безвоздушного мирового пространства вторглась крохотная твердая частичка весом в граммы или даже доли грамма — метеорное тело.

Двигаясь со скоростью в десятки километров в секунду, метеорное тело сильно сжимает перед собой воздух. Он ярко светится, образуя спереди метеорного тела так называемую «воздушную подушку». Ее мы и видим как «падающую звезду», тогда как само метеорное тело из-за малости непосредственному наблюдению недоступно.

Поединок твердой частички космического вещества и земной атмосферы всегда имеет один исход. Примерно на высоте 80—100 км метеорные тела полностью разрушаются, и остающаяся после них мельчайшая метеорная пыль медленно оседает на Землю. Так как яркость метеоров сравнима с видимой яркостью звезд, то до последнего времени «падающие звезды» наблюдались только по ночам, на темном фоне звездного неба.

Радиоастрономия значительно расширила возможности изучения этих интересных явлений.

Когда метеорное тело стремительно прорезает земную атмосферу, то, сталкиваясь с молекулами и атомами воздуха, оно частично ионизует их, то есть «вышибает» из них некоторые электроны. В результате за метеорным телом образуется длинный цилиндрический слой из ионизованных газов. Его размеры весьма внушительны — при поперечнике в несколько метров длина этой ионизованной «трубы» достигает десятков километров. Вследствие диффузии (рассеивания газов) «труба» постепенно расширяется и в конце концов, разрушаемая ветрами и другими причинами, как бы растворяется в атмосфере.

Мы уже отмечали, что слой ионизованных газов для радиоволн определенных длин является своеобразным зеркалом. Значит, с помощью радиолокатора можно получить радиоэхо и от ионизованных метеор-

ных следов. Возможности радиотехники в этой области исключительно велики. Радиолокаторы могут быстро определить расстояние до метеора, скорость метеорного тела, его торможение в атмосфере и, наконец, положение радианта, то есть той точки неба, откуда, как нам кажется, вылетел метеор.

Опыты показали, что наилучшие результаты получаются, если радиолокация метеоров ведется на волнах длиной около 5 м.

Современные радиолокаторы так чувствительны, что им доступны метеоры 16-й звездной величины, то есть почти в 10 тысяч раз менее яркие, чем самые слабые из звезд, доступных невооруженному глазу.

Систематические радиолокационные наблюдения метеоров начались с 1946 года. В ночь с 9 на 10 октября этого года Земля должна была пересечь орбиту кометы Джакобини — Циннера. Когда такое же событие происходило в 1933 году, на небе наблюдался интенсивный «звездный дождь». Сотни метеоров бороздили во всех направлениях звездное небо. В этот день земной шар встретился с метеорным потоком — огромным роем метеорных тел, своеобразных «осколков» кометного ядра, несущихся вокруг Солнца по орбите породившей их кометы. Астрономы договорились называть метеорные потоки по тому созвездию, из которого, как нам кажется, вылетают соответствующие им метеоры. Так как метеорный дождь, связанный с кометой Джакобини — Циннера, имеет радиант в созвездии Дракона, то порожденный ею метеорный поток получил название Драконид.

Ежегодно в конце первой декады октября Земля встречается с драконидами — метеорными телами потока Драконид. Но только иногда их звездные дожди бывают особенно обильными. Как раз такой случай и произошел в 1946 году, когда Земля пересекала наиболее плотную часть потока.

К огорчению астрономов, в ночь с 9 на 10 октября 1946 года ярко светила Луна, и ее сияние сильно мешало обычным наблюдениям. Но для радиолокаторов лунный свет не помеха. Советские ученые Б. Ю. Левин и П. О. Чечик в ту ночь

зарегистрировали радиозэх от сотен метеоров, большинство которых оставалось невидимым.

С тех пор радиолокационные наблюдения метеоров прочно вошли в практику работы многих обсерваторий.

Ни туман, ни дождь, ни ослепительное дневное сияние Солнца не могут помешать радиолокаторам «нащупывать» невидимые «падающие звезды». Они уверенно фиксируют как спорадические метеоры, то есть те метеоры, которые не связаны с каким-нибудь определенным метеорным потоком, так и невидимые «звездные дожди».

В поисках внеземных цивилизаций

Вряд ли есть другая научная проблема, которая вызывала бы такой жгучий интерес и такие жаркие споры, как проблема связи с внеземными цивилизациями. Литература по этой проблеме уже насчитывает многие тысячи наименований *). Созываются научные конференции и симпозиумы, налаживается международное сотрудничество ученых, ведутся экспериментальные исследования. По меткому выражению Станислава Лема, проблема связи с внеземными цивилизациями подобна игрушечной матрешке — она содержит в себе проблематику всех научных дисциплин.

Одним из возможных каналов связи с разумными обитателями, по-видимому, может быть прием радиосигналов от высокоразвитых внеземных цивилизаций. При современном уровне радиотехники возможна также посылка сигналов с Земли далеким «братьям по разуму».

В конце 1959 года два известных зарубежных ученых Моррисон и Коккони выступили с проектом установления радиосвязи с обитателями других планет. Суть этого проекта заключается в следующем:

Внутри невообразимо огромной сферы радиусом в сотню световых лет заключено около ста тысяч звезд. Среди них найдутся десятки, а может быть, и

*) Подробнее см. И. С. Шкловский, «Вселенная, жизнь, разум», «Наука», 1976.

сотни таких, которые окружены обитаемыми планетами. Можно думать, что и перед другими цивилизациями, достигшими такого же уровня развития, как наша, встал тот же вопрос — как установить радиосвязь с другими разумными обитателями Вселенной? Кто знает, быть может, и сейчас в направлении нашего Солнца кто-то посылает радиосигналы из глубин звездного мира — сигналы, на которые пока человечество отвечало молчанием! На какой же длине волны скорее всего ведется эта передача?

Неведомые нам разумные существа живут на планете, окруженной атмосферой. Значит, и они, вероятно, могут радировать в космос только сквозь узкое «радиоокно» их атмосферы. Значит, возможный диапазон радиоволн для «межзвездной» радиосвязи, скорее всего, ограничивается длинами от нескольких сантиметров до 30 м. Космические естественные источники радиоволн, как уже известно читателю, ведут постоянную интенсивную «радиопередачу» на волнах метрового диапазона. Чтобы она не создавала досадные помехи, радиосвязь обитаемых миров разумно вести на длинах волн короче 50 см. Но очень короткие радиоволны, в несколько сантиметров, опять непригодны — ведь тепловое радиоизлучение планет совершается именно на таких волнах, и оно будет «глушить» искусственную радиосвязь.

И вот Моррисону и Коккони приходит в голову блестящая мысль. Радиосвязь надо вести на волнах, близких к 21 см, которые излучает межзвездный водород. Ведь разумные обитатели других планет должны понимать огромную роль межзвездного водорода в изучении Вселенной. Значит, и у них должна быть мощная радиоаппаратура, работающая именно на этой волне. Так как водород — самый распространенный элемент в наблюдаемой нами части Вселенной, то его излучение на волне длиной 21 см может рассматриваться как некий природный, «космический» эталон длин. Значит, вероятнее всего прием радиосигналов с других обитаемых планет надо вести на волне длиной 21 см.

Трудно, конечно, предсказать, какой шифр будет скрыт в этих сигналах. Надо думать, что наши далекие «братья по космосу» воспользуются универ-

сальным языком всех мыслящих существ — языком математики. Может быть, их сигналы будут давать последовательность цифр 1, 2, 3... Или они передадут через бездны космоса зашифрованное значение такого замечательного числа, как π . Во всяком случае искусственные радиосигналы на волне 21 см можно будет отличить от естественных. В частности, так как радиопередатчик установлен на планете и вместе с ней обращается вокруг звезды, то благодаря эффекту Доплера искусственные радиосигналы должны периодически менять свою частоту.

Проект Моррисона и Коккони вызвал в среде астрономов огромный интерес. С конца 1960 года в Национальной радиоастрономической обсерватории США Франк Дрейк начал систематические «прослушивания» некоторых звезд с целью обнаружить искусственные радиосигналы. Для начала были выбраны две звезды, весьма похожие на Солнце. Это Тау из созвездия Кита и Эпсилон из созвездия Эридана. До каждой из них около одиннадцати световых лет. Прослушивание велось на радиотелескопе с диаметром зеркала 26 м.

Космос безмолвствовал. Впрочем, надеяться на быстрый успех было бы слишком наивно. Пройдут годы, а может быть, многие десятилетия, прежде чем удастся принять искусственные радиопередачи из глубин Вселенной. Да и расшифровав эти сигналы и пошлав в ответ свои, мы не можем ожидать быстрого, «оперативного» разговора. Наши вопросы и их ответы будут распространяться со скоростью света, а это значит, что от посылки вопроса до получения ответа пройдут десятилетия! К сожалению, ускорить разговор невозможно — в природе нет ничего быстрее радиоволн.

С 1967 года поиски радиосигналов от инопланетян начались и в нашей стране. Эти работы ведутся под руководством известного советского ученого члена-корреспондента АН СССР В. С. Троицкого. В настоящее время на *всенаправленных* (а не на параболических!) радиотелескопах ведется прием радиосигналов в диапазоне от 3 до 60 см. Одновременно подобные наблюдения проводятся и в других местах Советского Союза. Если на всех этих далеких друг от друга

радиотелескопах *одновременно* будут приняты загадочные «всплески» радиоизлучения, есть основания считать, что приняты радиосигналы (или какие-то радиопомехи) из космоса.

Пока что и эти эксперименты не привели к желанному результату, хотя обнаружено новое явление — всплески радиоизлучения естественного происхождения, приходящие на Землю из ближнего космоса.

Крупнейший в мире кольцевой 600-метровый радиотелескоп Специальной астрофизической обсерватории АН СССР уже с самого начала своей работы включился в поиски космических радиосигналов искусственного происхождения.

В США обсуждается проект «Циклоп», реализуемый с помощью Научно-исследовательского центра НАСА (Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства). По проекту «Циклоп» система для приема радиосигналов от инопланетян состоит из тысячи радиотелескопов, установленных на расстоянии 15 км друг от друга и работающих совместно. В сущности, эта система радиотелескопов подобна одному исполинскому параболическому радиотелескопу с площадью зеркала 20 квадратных километров! Проект «Циклоп» предполагается реализовать в течение ближайших 10—20 лет. Такие сроки не должны казаться чрезмерными, так как стоимость намечаемого сооружения поистине астрономическая — не менее 10 миллиардов долларов!

Если система «Циклоп» станет реальностью, удастся в принципе принимать искусственные радиосигналы в радиусе 1000 световых лет. В таком огромном объеме космического пространства содержится свыше миллиона солнцеподобных звезд, часть которых, возможно, окружена обитаемыми планетами. Чувствительность системы «Циклоп» поразительна. Если бы вокруг ближайшей к нам звезды Альфа Центавра обращалась планета, подобная Земле (с таким же уровнем развития радиотехники), то система «Циклоп» была бы способна уловить радиопередачи, проводимые *друг для друга* обитателями этой планеты!

Пока проект «Циклоп» не осуществлен, группа американских радиоастрономов пытается принять радиосигналы примерно от 500 ближайших звезд (в

радиусе до 80 световых лет). Прием ведется на 100-метровом параболическом радиотелескопе, одном из крупнейших в мире.

Предпринята и первая попытка активной радиосвязи с инопланетянами. Как уже говорилось, 300-метровый радиотелескоп в Аресибо может работать как радиолокатор на волне 10 см, причем его сигнал (с помощью радиотелескопов, подобных земным!) может быть уловлен в пределах всей нашей Галактики.

16 ноября 1974 года, когда состоялось официальное открытие радиообсерватории в Аресибо, гигантский радиолокатор послал шифрованное радиосообщение инопланетянам. В этом сообщении в двоичной системе счисления закодированы важнейшие сведения о Земле и ее обитателях. Сигнал послан на шаровое звездное скопление в созвездии Геркулеса, содержащее около 30 000 звезд. Если хотя бы около одной из этих звезд есть высокоразвитая цивилизация, способная принять и расшифровать наш сигнал, ответ на него мы получим не ранее, чем через 48 000 лет — так далеки от нас эти звезды!

И все-таки жажда общения со внеземным Разумом так сильна, что все технические и временные трудности кажутся преодолимыми. К тому же разумные наши собратья могут оказаться и по соседству с нами.

«Самым замечательным было то, что при рассматривании Солнца через определенные стекла я чувствовал тепло, несмотря на то, что стекло почти не пропускало света».

В. Гершель (1800 г.)

Инфракрасная астрономия

Между радиодиапазоном и участком видимого глазом спектра располагается, как уже говорилось, область инфракрасных лучей. Использование этих невидимых лучей для изучения небесных тел началось в 1800 году, когда Вильям Гершель попробовал наблюдать Солнце сквозь различно окрашенные темные стекла.

При рассматривании Солнца через некоторые стекла Гершель чувствовал тепло, несмотря на то, что стекло почти не пропускало света; в опытах с другими стеклами, пропускавшими много света, тепловое ощущение было почти незаметно.

Чтобы выяснить, в чем тут дело, Гершель поставил простой опыт, который легко может повторить и читатель этой книги. С помощью стеклянной призмы он разложил солнечный луч в радужную полоску, спектр, и измерил термометром с зачерненным ртутным концом температуру в разных участках спектра. С продвижением от фиолетового его конца к красному температура неуклонно росла. Но более всего Гершеля удивило то, что, когда ртутный шарик оказался за пределами красной границы спектра, там, где глаз уже не видел никаких лучей, температура оставалась достаточно высокой. Так были открыты невидимые, «тепловые», инфракрасные лучи.

Хотя Гершель был уверен, что источником инфракрасного излучения является любое нагретое тело, он, естественно, не мог предвидеть грандиозных последствий своего открытия.

Термометр, употребленный Вильямом Гершелем, был, конечно, самым примитивным приемником инфракрасного излучения. Последователи великого астронома старались использовать более совершенную технику. В 1840 году Джон Гершель впервые получил инфракрасную фотографию Солнца. Приемником излучения была бумага, пропитанная спиртом, который содержал в себе частички сажи. «Тепловые» инфракрасные лучи, оправдав свое первое наименование, выпарили спирт, и на бумаге был зафиксирован некоторый, не очень, правда, четкий рисунок.

Эмульсии современных фотопластинок чувствительны к лучам с длиной волны от 760 до 1200 миллимикрон. Примерно век спустя после первой инфракрасной фотографии, полученной Джоном Гершелем, удалось сфотографировать инфракрасные спектры Венеры, Марса и Юпитера. В атмосфере первой из этих планет был обнаружен углекислый газ. Его же нашли и в атмосфере Марса, где, кроме того, оказались в крайне незначительном количестве и водяные пары. Что же касается атмосферы Юпитера, то в ней, как и ожидали, преобладающая роль отведена водороду. Скромное начало имело немалые по значению последствия.

Начиная с длины волны 1,2 микрон все более длинноволновое инфракрасное излучение принимается специальными «точечными» приемниками. Они и в самом деле чувствительны только к той лучистой энергии, которая собрана в данной отдельной точке изображения.

Среди них долгое время безраздельно господствовали термоэлемент и болометр. Оба эти прибора постепенно совершенствовались. В 20-х годах текущего века термоэлемент поместили в вакуум, чем увеличили его чувствительность. Несколько улучшили и конструкцию болометров, что позволило проникнуть дальше в инфракрасный спектр Солнца, вплоть до волн длиной около 22 микрон.

Во время второй мировой войны вошел в практику так называемый элемент Голея. Идея его устройства несложна. В замкнутом объеме находится газ, давление которого при нагревании, естественно, увеличивается. С ростом давления искривляется поверхность

зеркала, на которое постоянно направлен луч света специального источника. Следовательно, изменение температуры элемента неизбежно влечет за собой изменение положения отраженного луча, что с большой точностью фиксируется на особой шкале.

Совсем на другом принципе действуют квантовые, или фотопроводниковые, приемники инфракрасного излучения. Их основа — некоторые кристаллы, обладающие свойствами так называемых полупроводников. Когда на них падают невидимые инфракрасные лучи, кристаллы нагреваются, их проводимость меняется, что и фиксируется специальными измерительными приборами.

Земная атмосфера мешает «инфракрасной астрономии». Мало того, что она поглощает часть инфракрасного излучения небесных тел и тем маскирует действительную картину, — земной воздух сам излучает инфракрасные лучи в диапазоне от 8 до 14 микрон. Это дополнительное излучение только мешает наблюдениям. Создается почти такое же незавидное положение, как если бы астроном стал наблюдать звезды днем с помощью освещенного изнутри телескопа.

Стремясь преодолеть это препятствие, приемники инфракрасного излучения размещают на воздушных шарах и космических аппаратах. Атмосфера вся или почти вся оказывается внизу и не мешает наблюдениям. Зато возникают другие неудобства. В космос трудно выносить массивные приборы, трудно применять там длительные экспозиции, повторять наблюдения до тех пор, пока появится полная уверенность в достоверности полученных результатов. В общем, наземные средства наблюдения пока конкурируют с заатмосферными, хотя рано или поздно первенство все же перейдет к последним.

На окулярном конце 125-сантиметрового рефлектора Крымской обсерватории был укреплен призменный инфракрасный спектрометр, с помощью которого В. И. Мороз, видный исследователь в области инфракрасной астрономии, изучил недавно спектры планет и их спутников. Приемником инфракрасного излучения служило особое сернисто-свинцовое фотосопротивление, проводимость которого при нагревании

заметно менялась. Хотя наблюдения велись с Земли, сквозь толщу мешающей им атмосферы, результаты получились очень интересными.

Почти всякий раз, когда исследователям планет удавалось проникнуть в инфракрасную часть спектра и изучить находящиеся там спектральные линии, они совершали важное открытие. Так было в 1932 году — в инфракрасном спектре Венеры нашли неизвестные ранее линии с длинами волн 7820, 7883, 8689 ангстрем. Их удалось уверенно приписать углекислому газу и даже (по их интенсивности) сделать правильный вывод об обилии углекислоты в атмосфере Венеры. Подобным образом в 1947 году в спектре Марса были обнаружены две полосы углекислоты с длинами волн, близкими к 1,6 микрон.

Но это — в прошлом. А вот несколько выдающихся открытий, сделанных в последние годы при изучении невидимого инфракрасного излучения планет и их спутников.

Давно обсуждался вопрос о природе густого облачного слоя Венеры. Что это — облака, похожие на земные, то есть состоящие из множества мельчайших водяных капелек, взвешенных в атмосфере? Или это облака пыли, вздымаемые ураганами над сухими, безводными пустынями Венеры? Или, наконец, поверхность Венеры постоянно скрыта от наших глаз ядовитыми парами формальдегида? серной кислоты?

В 1963 году американский астроном Стронг с помощью инфракрасной аппаратуры, установленной на воздушном шаре, с высоты 25 км пытался найти полосы поглощения водяных паров в инфракрасном спектре Венеры. Их не совсем четкие следы были зафиксированы, но только год спустя с более совершенной аппаратурой первоначальное открытие было подтверждено. К таким же выводам почти одновременно пришел и известный французский исследователь планет Дольфус. Из их наблюдений вытекало, что над облачным слоем Венеры содержится водяных паров примерно в сто раз меньше, чем у поверхности Земли. Если бы вся эта «венерианская» вода осела на поверхность планеты, она покрыла бы ее пленкой толщиной всего в 0,1 миллиметра.

Окончательный вывод о природе облаков Венеры еще не сделан. Ледяные кристаллики, которые могли бы входить в состав высоких облаков Венеры, должны давать полосы поглощения для длин волн в $1\frac{1}{2}$ и 21 миллиметр. Их же в инфракрасном спектре Венеры почему-то нет.

Любопытна инфракрасная карта Венеры (рис. 42). Сплошными линиями показаны изотермы, то есть кривые, соединяющие точки с одинаковыми указанными на них температурами. Пунктиром показан терминатор — граница света и тени (дня и ночи) на поверхности планеты. Примечательно, что на распределение

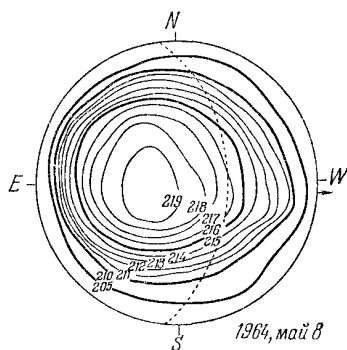


Рис. 42. Инфракрасная карта Венеры.

температур он не влияет — факт, доказывающий медленное вращение Венеры вокруг оси, медленное настолько, что разница дневных и ночных температур, по-видимому, сглаживается.

Еще одна интересная деталь — горячее пятно около южного полюса Венеры. Оно не единственное. Наблюдались и другие подобные пятна, возникавшие и исчезающие за короткие сроки (за 20—25 часов). Может быть, они порождены мощными действующими вулканами Венеры?

Даже в небольшой телескоп на диске Юпитера легко различимы сероватые полосы. Это облака в мощной метано-аммиачной атмосфере Юпитера. Естественно было ожидать, что в инфракрасном свете

картина получится сходной. На самом же деле в диапазоне волн от 8 до 14 микрон Юпитер выглядел неузнаваемым — на нем нельзя было различить ни одной из характерных для него полос. Получается, что распределение температур на видимой поверхности Юпитера никак не связано с распределением облачности в его атмосфере.

Но вот что заслуживает особого упоминания: на инфракрасных картах Юпитера его знаменитое Красное пятно, образование загадочное, во многом непонятное до сих пор, оказалось примерно на два градуса холоднее окружающих областей. Это еще раз говорит о том, что Красное пятно в известной степени «инородное» образование в атмосфере Юпитера.

Давно известно, что кольца Сатурна представляют собой рои из множества глыб. Московский астроном М. С. Бобров, почти всю жизнь посвятивший исследованию сатурновых колец, нашел, что их составляют тела диаметром от сантиметра до метра. Вместе взятые, они по объему примерно в тысячу раз меньше того объема пространства, которое занимают кольца, причем масса колец Сатурна примерно в сто тысяч раз меньше массы земного шара.

Уже много лет назад было подмечено, что распределение энергии в инфракрасном спектре сатурновых колец не совсем такое, как у Солнца. Было высказано предположение, что частицы кольца покрыты льдом или инеем. Недавно В. И. Мороз с более современной аппаратурой подтвердил эту гипотезу.

По-новому в инфракрасном «свете» выглядят и некоторые спутники планет.

Еще в 1947 году Д. Койпер в спектре Титана, главного спутника Сатурна, заметил полосы метана. Долгое время считалось, что Титан — единственная луна Солнечной системы, окруженная атмосферой. Теперь, после недавних исследований В. И. Мороза, этот вывод надо признать устаревшим. Советский астроном изучил отражательную способность (в инфракрасном «свете») главных спутников Юпитера — Ио, Европы, Каллисто, Ганимеда — и сравнил результаты с отражательной способностью лишенной атмосферы Луны. Оказалось, что кривые для Ио и Каллисто сходны между собой, но явно отличаются от

кривых для Европы и Ганимеда. Последние похожи на кривые, полученные для полярных шапок Марса и сатурновых колец. Значит, напрашивается вывод: поверхность Европы и Ганимеда покрыта льдом. Расчеты показывают: эти льды должны испаряться под воздействием солнечных лучей. Но это означает, что вокруг Европы и Ганимеда существует атмосфера.

У Луны отражательная способность увеличивается с ростом длины волны. У Ио и Каллисто она остается почти постоянной. Эти особенности, по-видимому, говорят о наличии атмосфер и у Ио и у Каллисто. Стоит заметить, что ряд наблюдателей отмечали на поверхности главных спутников Юпитера изменчивые полосы и пятна. Впрочем, во всем этом ничего поразительного нет — Ио, Европа, Каллисто и Ганимед весьма крупные тела, по размерам сравнимые не только с Меркурием, но даже и с Марсом. Если бы они обращались не вокруг Юпитера, а вокруг Солнца, мы бы считали их нормальными планетами.

Наблюдения Луны в инфракрасном диапазоне показали, что на ее поверхности есть ряд «горячих точек», температура которых существенно выше окружающей местности. Возможно, именно в этих районах Луны под поверхностью скрыты сравнительно небольшие лавовые очаги. Примечательно, что ряд «горячих точек» Луны совпадает с молодыми лунными кратерами.

Совершенно необычным показалось бы наблюдателю звездное небо, если бы он мог видеть Вселенную в «инфракрасном» свете. Исчезли бы с неба такие привычные созвездия, как Большая Медведица или Орион. Ярчайшая из звезд Сириус стала бы вовсе невидимой и эту участь разделили бы такие яркие звезды, как Вега, Денеб и Ригель. Зато красные звезды (например, Бетельгейзе, Антарес, Альдебаран) остались бы почти неизменными, а некоторые из них даже увеличились бы в яркости.

В целом небо стало бы неузнаваемым. Новые, незнакомые созвездия украсили небосвод. Самыми яркими на нем казались бы холодные звезды с температурой поверхности около 1000 градусов или даже ниже, а также горячие звезды, закрытые облаками пыли, которые играют роль инфракрасного фильтра.

Невидимое ныне ядро Галактики ярко просвечивало бы сквозь облачную пелену. Привлекли бы наше внимание и многие загадочные инфракрасные объекты, природа и происхождение которых пока неясны. В частности, вблизи центра Галактики найден очень небольшой (диаметр 0,3 светового года), но зато мощный инфракрасный источник, поток излучения от которого в 300 000 раз превышает по интенсивности общее излучение Солнца. Столь же таинственно, как этот объект, инфракрасное излучение квазаров, по мощности не уступающее их излучению в других диапазонах.

Приведенные примеры показывают, что инфракрасная техника раскрыла перед астрономами совершенно новые, прежде неизвестные свойства космических объектов. Это, конечно, относится и к другим, невоспринимаемым глазом участкам электромагнитного спектра.

За фиолетовым концом спектра

Коротковолновый участок спектра, отделенный от длинноволнового зоной видимых глазом лучей, состоит из трех типов излучений — ультрафиолетового, рентгеновского и гамма-излучения. Иногда ту область астрономии, которая использует для изучения Вселенной все эти лучи, называют астрономией высоких энергий. С какими же приемниками излучения приходится работать в этом случае?

Вся трудность приема коротковолнового излучения заключается в том, что для волн с длиной меньше 200 ангстрем обычные преломляющие и отражающие системы становятся попросту непригодными. Если на участке от 400 до 200 миллимикрон еще кое-как, с большими ухищрениями, удастся пользоваться линзами и зеркалами, то для рентгеновской части спектра (не говоря уж о гамма-лучах) кванты *) становятся такими энергичными, что они запросто пробивают все

*) Квант — элементарная «порция» энергии для электромагнитного излучения с данной длиной волны.

известные нам материалы, не изменяя первоначального направления полета.

Но если нельзя сфокусировать рентгеновские и гамма-лучи, то как же их исследовать, как построить для них телескоп?

Выход все-таки был найден. Коротковолновое излучение очень энергично, или, как говорят физики, «жестко». Значит, кванты рентгеновских и гамма-лучей по своим свойствам похожи на обычные частицы (скажем, протоны), приходящие из космоса на Землю. Но тогда для регистрации жестких квантов годятся такие же счетчики, какие применяются при изучении космических лучей.

Самый несложный из них — знаменитый счетчик Гейгера — Мюллера. Принцип его действия прост. По оси металлического цилиндра натянута металлическая нить, изолированная от цилиндра. Цилиндр наполнен газом под давлением примерно в восемь раз меньше атмосферного. Между цилиндром и нитью с помощью источника тока создается напряжение, близкое к разрядному: вот-вот между цилиндром и нитью проскочит искра, произойдет разряд.

Так и случится, если внутрь счетчика, пробив его цилиндрическую стенку, вторгается энергичная частица или жесткий квант. Столкнувшись с молекулами газа, они ионизуют их, то есть лишают части электронов, и нейтральная молекула превратится в положительный ион. «Выбитые» электроны устремляются к положительно заряженной нити, ионизуя на своем пути другие молекулы газа. Электроны множатся. За какие-то доли секунды возникает лавина электронов, иначе говоря, происходит разряд.

Теперь должна быть понятна принципиальная схема рентгеновского телескопа. Его основа, его приемное устройство — счетчик жестких квантов. Счетчик заключают в массивный металлический тубус, для того чтобы узнать, откуда приходит рентгеновское излучение. Можно покрывать счетчики пленками различного состава. Тогда разные счетчики будут принимать кванты различной жесткости. Получается что-то вроде спектрографа — появляется возможность выявить состав рентгеновского излучения.

Конечно, такой рентгеновский телескоп очень не совершенен. Один из его главных недостатков — слишком малая разрешающая способность, своеобразная близорукость. Счетчик фиксирует только то излучение, которое пропускает тубус. На практике оказывается, что при этом сразу охватывается обзором участок неба поперечником в несколько градусов. А ведь на такой площади даже в средний обычный телескоп видны тысячи звезд и других объектов. Какой из них посылает рентгеновы лучи, неясно.

В некоторых случаях (при наблюдениях Солнца) придумали приемное устройство, гораздо более зоркое, чем рентгеновский телескоп. В сущности, это не какой-то новый, сложный современный инструмент, а давно известная камера-обскура. В простейшем варианте — это обыкновенная картонная коробка с маленьким отверстием в дне, которое можно проткнуть иглой. Если на место крышки наклеить тонкую папиросную бумагу, камера-обскура готова.

Направьте ее из глубины комнаты на яркое освещенное окно — на папиросной бумаге тотчас появится перевернутое изображение окна.

В современной рентгеновской астрономии при изучении Солнца камера-обскура играет заметную роль. Устройство современных астрономических камер-обскур принципиально совершенно такое же, как и у детской самоделки. Но только на место прозрачной бумаги помещают фотопластинку, а крошечное отверстие камеры закрывают фольгой из бериллия, алюминия или органической пленки. Не будь ее, камера-обскура дала бы видимое глазом изображение Солнца. Непрозрачная заслонка выполняет роль фильтра — она пропускает только рентгеновские лучи.

Камера-обскура создает изображение Солнца с большими подробностями — на снимке можно различить детали, угловые размеры которых близки к минуте дуги. А это уже такая же зоркость, как и у человеческого глаза — для начала совсем неплохо.

Теперь посмотрите, как выглядит гамма-телескоп (рис. 43). Пришедшие из космоса жесткие гамма-кванты поступают сначала в особый радиатор А, внешне несколько напоминающий слоеный пирог (кстати, его называют иногда кристаллом-сэндвичем).

Взаимодействуя с веществом этого «сэндвича», гамма-кванты порождают электроны и позитроны. Эти частицы поступают в свою очередь в особый, так называемый черенковский счетчик.

В отличие от гейгеровского счетчика, где появление частицы или жесткого кванта вызывает электрический разряд, в черенковском счетчике быстро движущиеся частицы порождают особое свечение вещества. Явление это впервые было открыто советским физиком П. А. Черенковым — отсюда и наименование счетчика.

Конечно, свечение это очень слабое, и его приходится усиливать с помощью так называемых фотоумножителей. Но так или иначе, гамма-телескоп регистрирует приходящие гамма-кванты, и можно даже с помощью дополнительных устройств рассортировать их на более жесткие и менее жесткие.

«Близорукость» гамма-телескопа очень велика. Угол зрения, или конус видимости, определяется, очевидно, размерами радиатора и счетчика. В современных гамма-телескопах регистрируется поступление гамма-квантов с участка неба поперечником 30—35°. Из всех существующих телескопов гамма-телескопы в этом отношении самые несовершенные, самые «близорукие».

И все-таки, как и рентгеновские телескопы, их выносят на границу атмосферы и за ее пределы. И они уже сегодня доставили нам множество интереснейших сведений о невидимом коротковолновом излучении небесных тел. Не исключено, что некоторые волнующие нас загадки (скажем, природа сверхплотных и очень

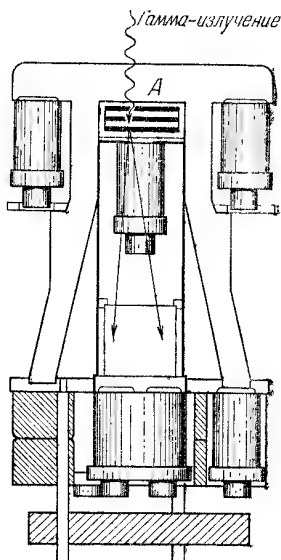


Рис. 43. Схема гамма-телескопа.

маленьких по размеру нейтронных звезд) будут решены именно этими средствами.

Что касается приемников ультрафиолетового излучения, близкого к видимой части спектра, то ими могут быть, например, фотопластинки, эмульсия которых чувствительна к ультрафиолетовым лучам. Приведем теперь несколько примеров из области «астрономии высоких энергий».

Когда в рентгеновском кабинете нас подвергают просвечиванию, источник рентгеновских лучей находится, естественно, вне нашего тела. Создаваемый им поток жесткого коротковолнового излучения пронизывает нас, а затем попадает на особый люминесцирующий экран, и получается видимое глазом изображение. Если экран заменить фотопленкой, получится рентгенограмма, в сущности, демонстрирующая нашу прозрачность в рентгеновских лучах. Ткани лучше пропускают рентгеновские лучи, чем кости. Поэтому на медицинских рентгенограммах легко различимы детали скелета.

При получении рентгенограммы Солнца ни о каком «просвечивании» не может быть и речи. Само Солнце, в отличие от человеческого тела, служит источником рентгеновских лучей. Типичная рентгенограмма Солнца сильно отличается от снимков Солнца в видимых лучах спектра.

Во время полных солнечных затмений удалось выяснить, какие части Солнца преимущественно испускают рентгеновские лучи. Помогла Луна, которая, как исполинская заслонка, загораживала разные части солнечного диска, а в момент полной фазы оставила незакрытой лишь солнечную атмосферу (точнее, хромосферу) и корону. Если бы в этот момент рентгеновское излучение Солнца упало до нуля, это значило бы, что рентгеновские лучи зарождаются на солнечной поверхности — ведь огромный лунный шар для них непрозрачен. Наоборот, если бы в момент полной фазы рентгеновское излучение не исчезало совсем, а только слабело, то отсюда следовало бы, что источники этих лучей находятся над солнечной поверхностью.

Как раз этот случай и наблюдается в действительности. Тем самым было доказано, что рентгенов-

ское излучение возникает в солнечной атмосфере и короне.

В отличие от солнечной поверхности, солнечная корона имеет температуру миллион градусов! Заметим, что эта величина характеризует очень высокую подвижность частиц, составляющих корону, — протонов, альфа-частиц, электронов. Расчеты показывают, что солнечная корона за счет очень высокой температуры порождает рентгеновское излучение и излучение это достаточно велико.

Когда на Солнце возникает хромосферная (или солнечная, как ее иначе называют) вспышка, рентгеновское излучение Солнца увеличивается иногда в сотни раз. Еще бы, ведь температура вспышек достигает сотен миллионов градусов! Предстоит выяснить закономерности в образовании этих взрывов на Солнце.

Еще в 1963 году приборы американской ракеты «Аэробы» зафиксировали на звездном небе два мощных источника рентгеновского излучения. Один из них находился в созвездии Тельца и, по-видимому, связан со знаменитой Крабовидной туманностью (рис. 44), другой — в созвездии Скорпиона. Выходит, что на небе, если бы наши глаза воспринимали рентгеновские лучи, мы увидели бы три Солнца — одно «настоящее», обычное, и два других, менее ярких, в созвездиях Тельца и Скорпиона.

И в том, и в другом созвездии в прошлом отмечены вспышки ярких новых (а скорее, даже сверхновых) звезд. *Новыми* астрономы называют звезды, которые в процессе своего развития иногда вспыхивают, как бы взрываясь, и при этом выделяют в мировое пространство огромные запасы своей внутренней энергии. Некоторые из звезд при взрыве выделяют энергию до 10^{50} эрг. Сбросив с себя внешние газовые оболочки, такие звезды резко сжимаются и превращаются в сверхплотные, нейтронные звезды с диаметром порядка 10 км и средней плотностью, близкой к плотности нейтронов. Такие звезды астрономы называют *сверхновыми*. В созвездии Тельца вспышка сверхновой звезды произошла в 1054 году, что было отмечено китайскими и японскими летописцами. В созвездии Скорпиона сверхновая звезда вспыхнула несколько

раньше — в 827 году. И это событие было зафиксировано в арабских летописях. Казалось, все говорит в пользу того, что источниками мощного рентгеновского излучения служат нейтронные звезды — «остатки» сверхновых звезд. Но как это можно было бы проверить?



Рис. 44. Фотография Крабовидной туманности.

Обращаясь вокруг Земли, Луна проходит по небу через зодиакальные созвездия. Бывает она ежемесячно и в созвездии Тельца, причем раз в девять лет ее путь проходит столь удачно, что Луна на короткое время заслоняет собой Крабовидную туманность. Как раз такое событие произошло летом 1964 года.

Возможны два случая: или рентгеновские лучи посылает нейтронная звезда, находящаяся где-то внутри Крабовидной туманности, или рентгеновское излучение исходит от самой этой туманности. В первом

случае поток рентгеновского излучения резко, сразу упадет до нуля в тот момент, когда Луна закроет гипотетическую нейтронную звезду. Во втором случае, поскольку рентгеновские лучи посылает вся туманность, интенсивность этого излучения будет падать постепенно, по мере того, как туманность станет покрываться Луной.

Наблюдения показали, что посылает рентгеновские лучи не нейтронная звезда, а туманность, что лучи зарождаются в ней при торможении в магнитных полях быстрых электронов. Важная деталь: рентгеновские лучи все-таки посылаются не всей Крабовидной туманностью, а только ее вдвое меньшей центральной частью.

По-видимому, такой же процесс совершается и в созвездии Скорпиона. Здесь тоже есть очень небольшая, но весьма горячая газовая туманность, излучающая рентгеновские лучи в миллионы раз более интенсивно, чем Солнце. И, как в созвездии Тельца, эта туманность образована когда-то вспыхнувшей сверхновой звездой.

Теперь на звездном небе известны сотни источников рентгеновского излучения. Они гораздо слабее тех, которые наблюдались в созвездиях Тельца и Скорпиона, и, что примечательно, почти все они расположены в Млечном Пути, в созвездиях Стрельца, Лебедя, Змеи и других. По оценке выдающегося советского астрофизика И. С. Шкловского, расстояния до них огромны — один, два десятка тысяч световых лет, тогда как «рентгеновское Солнце» в Скорпионе примерно вдесятеро ближе.

Установлено, что рентгеновские источники, входящие в состав двойных систем, представляют собой компактные тела с массой, близкой к массе Солнца. По мнению И. С. Шкловского, эти тела являются нейтронными звездами, быстро вращающимися вокруг оси *). Однако механизм мощного рентгеновского излучения остается не вполне ясным. Наряду с нейтронными звездами рентгеновские лучи испускают и газовые облака, окружающие эти звезды.

*) Подробнее см. И. С. Шкловский, «Звезды: их рождение, жизнь и смерть», «Наука», 1977.

Ультрафиолетовые части спектра ряда звезд выглядят на снимках менее яркими, чем им полагается быть по теории звездных атмосфер. Может быть, это вызвано свойствами самой звезды, а может быть, поглощением ультрафиолетовых лучей в межзвездной среде. Вот еще загадка, решение которой ищут сегодня астрофизики.

В межзвездных облаках, по теоретическим соображениям, должен быть молекулярный водород, но его пока не нашли, так как он излучает в основном в ультрафиолете. Излучение это очень слабое, но с развитием «астрономии ультрафиолета» его, наверное, обнаружат.

Нередко в ультрафиолетовом свете замечают такое, что глазом не видно. Таковы, например, темные пятна, найденные некоторыми астрономами на снимках Венеры в ультрафиолете. Глазам же поверхность Венеры всегда представляется повсюду почти одинаково светлой. Загадочные пятна обнаруживают некоторое постоянство, странное для изменчивой облачной атмосферы Венеры. Период вращения планеты, определяемый по смещению этих пятен, совсем не похож на тот, который недавно уверенно получен средствами радиолокации. Может быть, перемещение этих пятен вызвано атмосферными вихрями или потоками? Загадка пока не решена.

Взгляните теперь на фотографию известной туманности Северная Америка (рис. 45). Наименование дано, очевидно, за форму туманности. Визуально она ни в один современный телескоп не видна, хотя отыскать ее было бы нетрудно: на небе она находится по соседству с Денебом — самой яркой звездой созвездия Лебедя. Раньше объясняли этот парадокс тем, что туманность излучает невидимые ультрафиолетовые лучи.

Объяснение это неточно. В видимых глазом лучах туманность Северная Америка также излучает, но очень слабо. К тому же она весьма разрежена, и потому ее поверхностная яркость очень мала. Может быть, когда-нибудь в будущие сверхмощные оптические телескопы ее и увидят.

В ультрафиолетовых лучах звездное небо стало бы для нас неузнаваемым (как, впрочем, и в других

невидимых лучах спектра). Самой яркой звездой вместо Сириуса оказалась бы звезда Дзета из южного созвездия Кормы. Она выглядела бы примерно



Рис. 45. Фотография туманности «Северная Америка».

такой же яркой, как Венера. В Северном полушарии неба выделялась бы Дзета Ориона, самая левая звезда в его «поясе». Необычно яркими выглядели бы и некоторые особенно горячие звезды.

Самое же удивительное на ультрафиолетовом небе — обилие огромных, ярко светящихся туманностей. Одна из них заняла все созвездие Ориона. Это продолжение той части туманности Ориона, которую с трудом, в виде крохотного слабо светящегося пятнышка, различает глаз.

Из других похожих огромных светящихся пятен особенно примечательна исполинская ультрафиолетовая туманность, окутывающая Спикку — главную звезду созвездия Девы. В ультрафиолетовых лучах она казалась бы очень яркой, почти круглой, с поперечником, в 50 раз бóльшим видимого диаметра полной Луны. А вот сама Спика при этом была бы почти не видна — ее ультрафиолетовое излучение сравнительно слабо.

Необычен невидимый ультрафиолетовый космос. И в этом невидимом непременно надо тщательно разобраться.

Телевидение в астрономии

В самом начале второй половины текущего века астроному Пулковской обсерватории Н. Ф. Купревичу пришла в голову счастливая идея — использовать телевидение для астрономических наблюдений*). Принцип действия телевизионного телескопа, в сущности, прост, — это сочетание обычного оптического телескопа с приемным и передающим телевизионным устройством.

Можно проделать нехитрый опыт — направить телескоп на Солнце, а за его окулярной частью поместить белый экран. Тогда, как известно, на экране появится изображение Солнца. Чем дальше отодвинут экран от окуляра, тем оно будет крупнее. Но, выигрывая в размерах, изображение Солнца теряет в яркости. Наоборот, вблизи окуляра яркость изображения возрастает настолько, что крошечное ослепительное «солнце» прожжет бумагу.

*) Подробнее см. Н. Ф. Купревич, «Телевизионная техника в астрономии», Госэнергоиздат, Москва, 1958.

Если телескоп навести на Луну, можно на экране получить и ее изображение. Разумеется, изобразятся на экране и планеты, и звезды, и другие небесные объекты, но только яркость изображения получится несравнимо меньшей, чем для Луны.

Теперь представьте себе, что там, где находится экран, помещена передающая телевизионная трубка — та самая, которой пользуются в телевизионных студиях. Мы не станем разбирать ее устройство — это увело бы нас далеко от темы книги. Отметим лишь главное: передающая трубка превращает оптическое изображение в электрические сигналы. Эти сигналы можно с помощью радиоволн передать на большое расстояние, где они будут приняты антенной телевизора, причем последний снова превратит их в изображение. А можно телевизор поместить тут же, в обсерватории, и на экране его кинескопа наблюдать то, что происходит на небе.

Такова идея, таков основной принцип. Техническое воплощение этого принципа — телевизионный телескоп. Этот новый метод астрономических наблюдений имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционными. Изображение астрономического объекта можно передать на большие расстояния.

На экране кинескопа можно получать очень крупные, подробные изображения. Удается «накапливать» изображение в виде электрических зарядов на люминесцирующем слое кинескопа, а потом рассматривать или фотографировать его. Расчеты показывают, что таким способом в недалеком будущем на заатмосферных обсерваториях удастся получить изображения звезд 34-й звездной величины — в десятки тысяч раз более слабых, чем те, которые ныне на пределе видимости доступны современным телескопам. Есть и другие достоинства телевизионных телескопов, но следует, конечно, отметить и их главный недостаток — громоздкость оборудования. Непостоянство изображения на экране телевизионного телескопа (перерывы в чередовании кадров) мешает четкому фотографированию объекта.

В инфракрасной астрономии телевизионный телескоп уже продемонстрировал свою силу. Если наблюдения ведутся в инфракрасной части спектра, перед

видиконом — передающей телевизионной трубкой — устанавливают фильтр из кремния или особого стекла, который пропускает только инфракрасное излучение. Эти лучи попадают на тонкий слой полупроводникового материала, в разных частях которого создается разное электрическое сопротивление — в «светлых» меньше, в «темных» больше (речь идет, повторяем, об инфракрасном невидимом изображении). Таким образом, на полупроводниковой «мишени» видикона создается электрическое изображение объекта, которое затем и передается в приемный телевизор. На экране же последнего невидимое изображение становится видимым, потому что люминесцентный приемный слой кинескопа излучает видимые лучи. Теперь уже ничто не мешает сфотографировать невидимое, получить снимок небесного тела в инфракрасных лучах.

Еще в 1962 году Н. Ф. Купревич таким способом получил очень любопытные инфракрасные фотографии Луны. Картина получилась во многом отличная от того, что видит глаз.

Лунное Море Облаков обычно выглядит равниной с неопределенными пятнами и небольшим числом кратеров. В инфракрасном свете видны кольцевые горы, заполняющие все пространство моря. А вот светлые лучи, расходящиеся от кратера Тихо, в инфракрасном свете оказались совокупностью мелких, вытянутых в полоску кратеров — открытие, лишь через несколько лет подтвержденное средствами космонавтики. Там, где вокруг кратера Коперник глаз видит темные пятна, инфракрасный телевизионный телескоп Н. Ф. Купревича зафиксировал кратеры с резко выраженной структурой. Неожиданным было и то, что Море Дождей оказалось бугристой областью, усеянной множеством невидимых глазом кратеров. Подобные открытия были сделаны и в других районах Луны.

Астрономы Крымской обсерватории А. И. Абраменко и Е. С. Агапов с помощью 50-сантиметрового телескопа с присоединенным к нему телевизионным устройством наблюдали звезды 21-й звездной величины. Без помощи телевидения тот же телескоп фиксирует лишь звезды не слабее 18-й звездной величины.

Все это, конечно, только первые шаги. Но перспективы весьма заманчивы. В созвездии Стрельца, там, где Млечный Путь становится более широким и ярким, должно находиться центральное сгущение нашей звездной системы — ядро Галактики. В этом направлении сгущаются звезды, звездные скопления, туманности. Здесь, именно здесь, должно находиться огромное шаровидное скопище звезд, подобное тем, которые хорошо различимы на снимках ближайших галактик.

Но его нет, галактическое ядро мы не видим. А в том месте неба, где ему следовало бы быть, наблюдается своеобразный темный «провал», выделяющийся на фоне Млечного Пути.

Причина несоответствия теории и наблюдений понятна. Ядро Галактики скрыто от нас огромными протяженными облаками темной космической пыли. Они обволакивают центральные области нашей звездной системы, делают их невидимыми. И все-таки увидеть ядро Галактики можно. Помогла решить эту задачу телевизионная техника.

В 1948 году советские астрономы В. Б. Никонов, А. А. Калинин и В. И. Красовский исследовали окрестности галактического ядра, а несколько ранее и менее удачно их американские коллеги попытались сфотографировать невидимое галактическое ядро. Прибор, позволяющий это сделать, получил ныне широкое признание в инфракрасной астрономии. Называется он электронно-оптическим преобразователем.

Основа прибора — полупрозрачный кислородно-цезиевый фотокатод. Его помещают в фокус телескопа и с помощью инфракрасного фильтра (вроде тех, о которых говорилось) направляют на него инфракрасные лучи от небесного тела. Кванты инфракрасного излучения хотя и менее энергичны, чем кванты видимого света, но все же, ударяясь о фотокатод, выбивают из него электроны, которые на специальном экране создают видимое глазом изображение.

Не зря этот прибор называется преобразователем. Он и на самом деле преобразует инфракрасное изображение в видимое. Благодаря ему и удалось впервые увидеть окрестности ядра Галактики. Спустя два десятилетия американские астрономы аналогичным

способом исследовали и самое ядро нашей звездной системы.

Если бы какой-нибудь фантастический пылесос убрал из Галактики всю межзвездную среду, то есть пыль и газы, заполняющие межзвездное пространство, то ядро Галактики предстало бы перед нами огромным, причудливым светилом. Мы видели бы летними ночами в созвездии Стрельца шаровидное, слегка сплюснутое скопище звезд, поперечник которого в 36 раз превышал бы видимый диаметр Луны. Земные предметы, освещенные зеленовато-желтым светом галактического ядра, отбрасывали бы заметные тени.

Природа лишила нас этого необыкновенного зрелища. Но человек способен преодолеть любые преграды — инфракрасная техника раскрыла перед нами невидимые глазом звездные дали.

Нейтринные телескопы

О нейтринно впервые заговорили около сорока лет назад, после того как в 1931 году швейцарский физик Паули теоретически предсказал существование этой удивительной частицы. Поначалу нейтринно выполняло служебную роль: его ввели, чтобы устранить кажущееся нарушение закона сохранения энергии при так называемом бета-распаде.

Как известно, распадаясь, радиоактивное вещество порождает три типа лучей, обозначаемых греческими буквами альфа (α), бета (β) и гамма (γ). Состав этих лучей давно известен: альфа-лучи представляют собой ядра атомов гелия, бета-лучи — электроны, гамма-лучи — электромагнитное излучение малой длины волны, о котором в этой книге уже говорилось.

Все эти продукты радиоактивного распада уносят с собой энергию. Но вот при бета-распаде получается, что энергия вылетающих электронов не всегда одна и та же, а меняется от опыта к опыту, причем нередко в широком диапазоне. Чтобы объяснить эти странные факты, Паули высказал гипотезу, что каждый раз вместе с электроном из радиоактивного ядра вылетает некая частица, которая и уносит с собой недостающую энергию.

Закон сохранения энергии вновь торжествовал, но объяснение Паули многим казалось чересчур искусственным. Да и гипотетическая частица должна была обладать необычными свойствами — при отсутствии всякого электрического заряда иметь исчезающе малую массу. Как бы там ни было, эта частица все же прочно вошла в арсенал теоретической физики под названием «нейтрино». Только в 1957 году, после пятилетней подготовительной работы, физикам удалось наконец «увидеть» нейтрино. Говоря более строго, была зарегистрирована вспышка, порожденная потоками нейтрино в водородосодержащем веществе. Источником же нейтрино в этих опытах был один из самых мощных современных ядерных реакторов.

Ныне установлено совершенно твердо, что нейтрино образуется при всех ядерных процессах. Возникает оно и в недрах Солнца как побочный продукт тех ядерных реакций, которые обеспечивают его свечение. И роль этих солнечных нейтрино не малая. Нейтринное излучение Солнца по своей энергии составляет 10% его видимого излучения.

Пробивная способность нейтрино совершенно фантастична. Зародившись в недрах Солнца, нейтрино совершенно беспрепятственно выходит наружу, в космическое пространство, и делает оно это так, как если бы вовсе не существовал исполинский газовый солнечный шар. Более того, если бы Солнце со всех сторон было окружено железным слоем толщиной в миллионы световых лет, то и такое препятствие нейтрино преодолело бы без всяких затруднений!

До сих пор астрономы изучали космос, используя главным образом электромагнитное излучение небесных тел. Лучи, как видимые, так и невидимые, служили (да и теперь служат) почти единственными «связными» между небом и Землей. Существование нейтрино подсказало заманчивую идею: уловить солнечные нейтрино и «выжать» из них информацию о глубинных недрах Солнца.

По существующим ныне теоретическим представлениям солнечные нейтрино зарождаются в центральных областях Солнца, близко от его центра, в ходе происходящих там ядерных реакций. Поэтому если бы мы могли видеть потоки солнечных нейтрино,

наше дневное светило показалось бы нам крошечной, ослепительно яркой точкой, в сто раз по поперечнику меньше «оптического» Солнца. Нельзя ли с помощью каких-нибудь приборов увидеть, изучить это нейтринное Солнце? Ну, а в случае успеха можно потом попробовать уловить нейтринное излучение других звезд.

Идея смелая, но практически ее осуществить очень трудно. Мешает неуловимость нейтрино: оно никак не реагирует на магнитные или электрические поля. А очень малая масса помогает нейтрино беспрепятственно пробиваться сквозь вещество.

Нельзя, правда, сказать, что нейтрино никогда и ни при каких обстоятельствах не взаимодействует с веществом. Если бы дело обстояло так, то нейтрино мы бы просто никогда не обнаружили. На самом деле возможны процессы, при которых (по крайней мере в принципе) нейтрино даст знать о себе. Таков, например, процесс, обратный бета-распаду. В этом случае протон должен превратиться в нейтрон и позитрон, причем неизбежно возникает вспышка света, которую можно обнаружить чувствительными фотоэлементами. Правда, вероятность такого процесса очень мала, но все же не равна нулю. Если вещество содержит водород (а значит, протоны) и это вещество облучается потоком нейтрино, то рано или поздно фотоэлементы зарегистрируют слабые вспышки — реальные проявления реально существующих нейтрино.

Мыслимы две возможности: или пропустить одно нейтрино через астрономическую толщу вещества, или, наоборот, использовать поток с астрономическим числом нейтрино для облучения приемлемой на практике толщи вещества. Первый вариант практически нереален. Во втором случае при достаточно мощном потоке нейтрино есть шансы на успех — именно так и сделали физики, когда в 1957 году им удалось впервые убедиться в существовании нейтрино.

10% энергии видимого излучения Солнца — величина немалая. Это значит, что ежесекундно через квадратный сантиметр земной поверхности проходит 100 миллиардов нейтрино. Это значит, кстати, что в течение жизни человека через его тело пройдет число нейтрино, еще в биллион раз большее. И, вероятно,

только один раз одно какое-то нейтрино поглотится в человеческом теле. Заметим, что в полночь мы облучаемся потоком нейтрино никак не меньшим, чем в полдень, — ведь нейтрино запросто проходит через всю толщу земного шара! Любопытно все-таки, что нейтринное Солнце «освещает» нас круглосуточно. Но как поймать это излучение?

Среди высказанных предложений есть одно, пожалуй, наиболее практичное. Нейтрино реагирует с ядром хлора. В итоге этой реакции образуется ядро радиоактивного изотопа аргона, которое испускает электрон. Среди дешевых и широко распространенных веществ есть четыреххлористый углерод или перхлорэтилен (C_2Cl_4) — вполне подходящая мишень для нейтрино. Заготовить его предварительно можно хоть тоннами. А потом посмотреть, как повлияют на него солнечные нейтрино — в нем должен образоваться аргон, который затем следует испытать на радиоактивность.

Еще одна примечательная деталь. Обсерваторию для приема солнечных нейтрино лучше всего поместить под землей, на глубине нескольких километров, где не будет сказываться нежелательное вмешательство других частиц. В 1955 г. американский исследователь Р. Девис в Южной Дакоте (США) на глубине 1490 м смонтировал первый нейтринный «телескоп». Приемником нейтринного излучения служил горизонтальный цилиндрический бак длиной около 14 м, содержащий примерно 400 000 литров перхлорэтилена. Позже нейтринные телескопы были созданы в других районах США, а также в Индии и ЮАР (в последнем случае на трехкилометровой глубине!) Предполагается построить крупный нейтринный телескоп и в Советском Союзе.

К сожалению, результаты работ этих «телескопов» пока не удалось согласовать с теорией. Чем это вызвано, еще неясно. Может быть, Солнце в центре холоднее, чем мы думаем, а может быть источником его энергии служат такие неизвестные нам пока процессы, при которых нейтрино вовсе не возникает, или образуется в неощутимо малых количествах. Будущее покажет, в чем причина теперешних неудачных поисков. И все-таки эти первые шаги в создании нейтринной астрофизики обнадеживают.

Очень трудно построить хороший нейтринный телескоп. И не потому лишь, что не видно, из чего сделать нейтринные линзы и как уменьшить их до практически реальных размеров. Нейтринные пучки только при очень больших энергиях, так сказать, чувствительны к направлению, только в этом случае «выбитые» нейтрино частицы вещества сохраняют первоначальное направление полета, а значит, можно узнать, откуда прилетело нейтрино. Есть, конечно, и другие трудности, заставляющие некоторых ученых сегодня скептически относиться к нейтринным телескопам. Но будущее может таить в себе такие возможности, о которых мы сегодня и не подозреваем.

И если когда-нибудь все-таки будут построены сверхчувствительные нейтринные телескопы, с их помощью в звездном мире откроют много необычного. Среди прочего станет возможным прогноз вспышек сверхновых звезд. Оказывается, задолго до того как вспыхнуть в видимом свете, кандидаты в сверхновые звезды начинают интенсивно излучать все более и более мощные потоки нейтрино. А разве не будоражит нашу фантазию такая возможность, как познание антимиров из антивещества, что с помощью нейтрино могло бы быть сильно облегчено? Право же, обидно сознавать, что вокруг нас (и даже в нас самих!) движутся мириады частиц, в которых заложена ценнейшая информация о космосе, а мы эту информацию пока не умеем извлекать и использовать!

Веками астрономы стремились подняться над Землей, в верхние, прозрачные и спокойные слои атмосферы. Они строили обсерватории на высоких плоскогорьях, поднимались на вершины гор, а в последние годы им удалось даже вывести обсерватории на космические орбиты. И теперь, когда, казалось, цель достигнута, астрономы подумывают о том, чтобы зарыться поглубже в Землю и оттуда, сквозь всю толщу земного шара, изучать космос!

Парадоксально? Конечно. Но в этой внешней противоречивости действий отражается внутренняя противоречивость науки, в конечном счете и обеспечивающая ее прогресс. А средства изучения космоса и должны быть многообразны, как многообразна сама Вселенная — видимая и невидимая.

ЗААТМОСФЕРНЫЕ ОБСЕРВАТОРИИ

«Только с момента применения реактивных приборов начнется новая великая эра в астрономии: эра пристального изучения неба».

К. Э. Циолковский

Все выше и выше!

Еще в прошлом веке астрономы старались забраться как можно выше, чтобы уменьшить до минимума вредное влияние атмосферы. Напомним, что воздушная оболочка нашей планеты создает существенные помехи при астрономических наблюдениях. Постоянное движение воздушных масс размывает, портит изображения небесных тел и даже в самые небольшие телескопы хорошо видно струйчатое течение воздуха. Из-за этого в наземных условиях приходится применять ограниченные увеличения (как правило, не более чем в несколько сотен раз).

Не в полную силу работают телескопы и по другой причине. Из-за непрозрачности атмосферы почти ко всем электромагнитным излучениям с наземных обсерваторий мы исследуем Вселенную сквозь две узкие «щели» — видимого света и «радиоокно».

На вершинах гор воздух чище, спокойнее и если к тому же для горной обсерватории выбрано место с хорошим астроклиматом (в частности, с большим количеством ясных дней в году), условия для изучения Вселенной становятся вполне благоприятными. По этой причине еще с конца прошлого века все крупные астрономические обсерватории сооружаются на вершинах гор или на высоких плоскогорьях.

Но так уж устроен человек, что он не способен навсегда удовлетвориться достигнутым. Еще более века назад, в 1870 году французский исследователь Солнца Ж. Жансен, основавший обсерваторию на вершине Монблана, продолжил исследования дневного светила с воздушного шара. Так впервые

астрономы оторвались от поверхности Земли и двинулись навстречу звездам.

Примеру Жансена последовали и другие ученые, в частности, Д. И. Менделеев, наблюдавший солнечное затмение с воздушного шара. Астрономы, поднявшись над облаками, фотографировали поверхность Солнца, его спектр. Позже с воздушных шаров наблюдали кометы и метеоры.

Когда в обиход прочно вошли самолеты, их также стали использовать для астрономических целей. Особенно распространенными стали полеты по ходу лунной тени во время полных солнечных затмений. Спешащий за тенью самолет продлевал для наблюдателей на его борту полную фазу затмения, в обычных условиях не превышающую семи минут.

После второй мировой войны «баллонная астрономия» (стал употребляться и такой термин) превратилась в одно из перспективных средств изучения Вселенной. Начиная с 1951 года известный французский астроном О. Дольфус совершил ряд высотных полетов на воздушных шарах, сначала в открытой корзине, а затем в герметической гондоле. Его стратостат, на котором в 1969 году Дольфус достиг высоты 13 км, состоял из 105 метеорологических шаров, каждый из которых имел диаметр 183 см. Дольфусу удалось сфотографировать спектр Венеры и найти в составе ее атмосферы водяные пары.

Примеру Дольфуса последовали американские ученые. Астроном М. Шварцшильд в 1957 году начал серию запусков стратостатов с астрономическими приборами, но без человека на борту (рис. 46). Его «Стратоскоп-2» взлетел на высоту 24 км и поднял в стратосферу управляемый по радио 36 дюймовый телескоп, равный по диаметру знаменитому Ликскому рефрактору! Кстати сказать, на такую же высоту в гондоле стратостата поднялись в 1961 году и два американских исследователя М. Росс и В. Празер.

На высоте в 34 км практически полностью используется разрешающая сила телескопов и становится доступным изучению весь электромагнитный спектр.

Результаты не замедлили сказаться. На тысячах снимков солнечной поверхности необычайно отчетливо и в крупном масштабе виднелись гранулы — вершины

бьющих наружу конвективных струй солнечной атмосферы. Отлично различима на снимках тонкая структура солнечных пятен. Со стратостатов были также получены снимки Юпитера, спектры Луны и некоторых планет, звезд и галактик. В инфракрасной части спектра звезды Миры Кита и других холодных звезд удалось заметить полосы воды.

«Стратоскопы» Шварцшильда, наполненные газом, достигали в высоту 198 м (как 65-этажный небоскреб!). После выполнения программы по радиокоманде с Земли гондола с приборами отделялась от стратостата и на парашютах опускалась к исследователям.

Французские и швейцарские астрономы с помощью стратостатов впервые получили «ультрафиолетовые» спектры Солнца и сотен звезд. В 1960 году американский стратостат «Короноскоп» доставил на высоту 26 км коронограф и другие приборы для изучения Солнца. То, что раньше удавалось увидеть лишь в моменты полных солнечных затмений, теперь стало доступным изучению в любой день.

Первая советская стратосферная обсерватория отправилась в полет в ноябре 1966 года. Вес ее научной

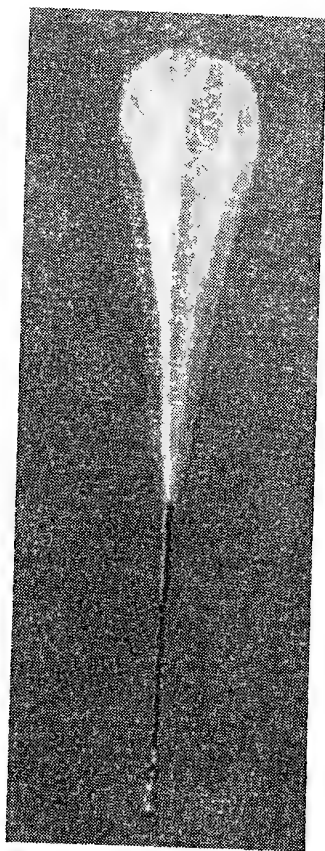


Рис. 46. Телескоп, поднимаемый стратостатом.

аппаратуры достигал 7,6 тонны! Среди этих приборов был и рефлектор с поперечником 1 м. После этого был произведен еще ряд запусков, итоги которых оказались весьма ценными для науки. На поверхности Солнца открыта неизвестная ранее тонкая структура — множество «пятен», диаметром не более 300 км, существование которых объясняет ряд аномалий в магнитных полях Солнца. Спектрограммы Солнца показали, что дейтерия на Солнце практически нет.

Выявлены новые закономерности в образовании хромосферных вспышек — невообразимо мощных взрывов на Солнце. Организатором этих стратосферных исследований Солнца является директор Пулковской обсерватории член-корреспондент АН СССР В. А. Крат.

Запуски воздушных шаров (или баллонов) в стратосферу для астрономических исследований стали обычным делом. С 1972 года на высоты 30—35 км ежегодно запускаются сотни шаров. В этом изучении Вселенной с границ земной атмосферы баллонам помогают ракеты.

Началом «ракетной астрономии» можно считать тот день, когда в 1946 году группа американских исследователей во главе с Тауси установила спектрограф на одну из трофейных ракет «Фау-2» и отправила эту ракету в верхнюю стратосферу на высоту около 200 км. Здесь, в верхней точке траектории, господствовали условия, равноценные межпланетному пространству. Вся атмосфера практически оставалась внизу, а на черном звездном небе ослепительно ярко сияло Солнце. Вот почему запуски ракет ознаменовали начало заатмосферных наблюдений космоса.

Эти запуски давно уже стали заурядными событиями в научной жизни ряда стран, в частности, и Советского Союза. Используются, разумеется, уже не трофейные, а специальные ракеты, оснащенные разнообразными приборами для фотографирования небесных тел и их спектров в невидимых глазом лучах. Особенно впечатляющи успехи «ракетной астрономии» в области «ультрафиолетовой» астрономии.

Обсерватории на орбитах

Исследование космоса с помощью высотных геофизических ракет имеет один существенный недостаток. Пребывание ракеты (а стало быть, и астрономических приборов) на максимальной высоте весьма кратковременно. Между тем в ряде случаев требуются наблюдения гораздо большей длительности. Отсюда и родилась идея о создании Орбитальных Астрономических Обсерваторий (ОАО).

Собственно, уже третий советский искусственный спутник Земли весом 1,3 т нес аппаратуру для исследования микрометеоритов и космических лучей, а потому его можно считать предшественником будущих орбитальных астрономических обсерваторий. Тем более летающими обсерваториями можно было бы считать такие советские спутники, как 17-тонный «Протон-4». Однако в дальнейшем под ОАО мы будем понимать спутники, предназначенные только для астрономических исследований. С этой точки зрения первыми специализированными ОАО были американские спутники «ОСО-1» и «ОСО-2», выведенные на орбиты в 1964 и 1965 гг. Эти Орбитальные Солнечные Обсерватории (ОСО) получили новые данные о коротковолновом солнечном излучении, солнечных вспышках и космических радиоисточниках. Вес их аппаратуры не превышал 100 кг.

Американские ОСО запускаются на почти круговые орбиты высотой около 500 км. Основание ОСО имеет форму колеса и состоит из нескольких отсеков, несущих различную аппаратуру. Главная трудность в создании ОАО — обеспечение нужной ориентации спутника и сохранение этой ориентации достаточно продолжительное время. В американских ОСО устойчивость ориентации обеспечивается вращением колеса, основы станции, с угловой скоростью около 30 оборотов в минуту. Кроме спектрографов и других приборов на ОСО имеются специальные самописцы, предназначенные для хранения информации.

В настоящее время ОАО, запускаемые в США, снабжаются оптическими и радиотелескопами, а также аппаратурой для изучения гамма-лучей и рентгеновского излучения, поступающих от космических

источников. Телескопы ОАО способны эффективно изучать планеты, звезды и галактики. Насколько точна система стабилизации ОАО, можно судить по следующему примеру. Американская ОАО «Коперник» весом 2,2 т, запущенная в 1972 году, способна в течение часа сохранять нужное направление с точностью до 0,1 секунды дуги! Под таким углом виден футбольный мяч с расстояния в 650 км.

В будущем и эта точность повысится. В США в 80-х гг. текущего столетия проектируется запуск орбитального самолета, на борту которого будет находиться рефлектор диаметром 4 м. Точность стабилизации при этом составит 0,005 секунды дуги. Заметим, что если этот проект будет осуществлен, в орбитальный 4-метровый рефлектор удастся, вероятно, рассмотреть планеты у ближайших звезд!

Крупные размеры уже сегодня имеют орбитальные радиотелескопы. Например, ОАО «Эксплорер-38» имеет четыре антенны, раздвигающиеся в длину до 220 м.

Одной из первых советских ОАО был спутник «Космос-215», запущенный в апреле 1968 года и оснащенный 8 телескопами (в том числе рентгеновским). В некоторых случаях ОАО укрепляется на космических пилотируемых кораблях. Примером может служить советская ОАО «Орион-2», установленная на космическом корабле «Союз-13» (1975 год).

Главное в этой обсерватории — 24-сантиметровый менисковый телескоп системы Максутова, снабженный объективной призмой. Заметим, что все оптические элементы (включая зеркала) сделаны из кварца, пропускающего коротковолновое излучение. Спектры звезд, созданные объективной призмой, фиксировались на специальной фотопленке, высокочувствительной к ультрафиолетовым лучам.

За пять дней работы на орбите с помощью «Ориона-2» были получены многие тысячи спектрограмм слабых звезд (до 13-й звездной величины). Выявлено много «ультрафиолетовых» звезд, свечение которых в невидимом глазом ультрафиолете особенно сильно. Впервые снята «ультрафиолетовая» спектрограмма одной из планетарных туманностей и изучены атмосферы ряда холодных звезд. Словом, получен богатей-

ший эмпирический материал, обработка и изучение которого продолжается.

В апреле 1973 г. в Советском Союзе был запущен советско-польский спутник «Коперник-500». Эта орбитальная астрофизическая обсерватория собрала много ценных данных о физике Солнца и характере солнечно-земных связей. Немалых успехов добилась и аналогичная американская орбитальная обсерватория «Коперник».

Орбитальные Астрономические Обсерватории разных типов, размеров и назначения прочно вошли в повседневную практику современной космонавтики. Предстоит и более диковинная задача — создание астрономических обсерваторий на небесных телах.

В Договоре о принципах деятельности государств по исследованию и использованию космического пространства, включая Луну и другие небесные тела, в частности, говорится:

«Все станции, установки, оборудование и космические корабли на Луне и на других небесных телах открыты для представителей других государств — участников настоящего договора на основе взаимности» («Правда», 28 января 1967 г.). Вот почему вполне своевременным выглядит проект Лунной Межпланетной Лаборатории (ЛМЛ), разработанной Международной Астронавтической Академией. Этот проект, по мнению его авторов, может быть осуществлен совместными усилиями ряда стран и в первую очередь СССР и США не позже 1985 года. Среди главных задач ЛМЛ — астрономические и астрофизические наблюдения с Луны *).

От первых наблюдений неба до современных космических автоматов, непосредственно изучающих небесные тела, — вот путь, уже преодоленный человеческим Разумом. А впереди — новые успехи астрономии и новые необыкновенные открытия, предвидеть которые просто невозможно.

*) Подробнее см. сборник «Будущее науки», «Знание», 1975.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Глаза Земли (3).

Астрономия без телескопов

Угломерные инструменты (5). Древние обсерватории (14). Гиппарх и Птолемей (18). Внук Тимура (24). Он жил недаром (29).

Чемпионат телескопов

Первые телескопы (35). Динозавры телескопической техники (42). Устранение aberrаций (49). Старинные обсерватории России (53). Рекорды Альвана Кларка (59). В игру вступают рефлекторы (64). Вильям Гершель и его последователи (68). Крупнейшие рефлекторы XX века (75). И зеркала, и линзы (80). Механика телескопов (84). Шестиметровый гигант (87).

На современных обсерваториях

Потомки квадрантов (94). Фотография в астрономии (99). Прирученная радуга (103). Солнечные обсерватории (112). Измерители излучений (117). О будущем оптических телескопов (121).

Радиотехника и Космос

Зарождение радиоастрономии (124). Прозрачна ли атмосфера? (128). Радиотелескопы и рефлекторы (131). Борьба с помехами (135). О зоркости радиотелескопов (137). «Радиоэхо» в астрономии (141). Как устроен радиолокатор (142). Радиолокация Луны и планет (146). Метеоры наблюдают днем (151). В поисках внеземных цивилизаций (154).

Необычные телескопы

Инфракрасная астрономия (159). За фиолетовым концом спектра (166). Телевидение в астрономии (176). Нейтринные телескопы (180).

Заатмосферные обсерватории

Все выше и выше! (185). Обсерватории на орбитах (189).

Цена 40 коп.

